

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS

APLICAÇÃO DE PLASMA A FRIO ATMOSFÉRICO NA MODIFICAÇÃO DO
AMIDO DE ARIÁ (*Goepertia allouia Aubl.*) Borchs. & S. Suárez): EFEITO DA ALTA
TENSÃO

ANA PAULA MILÉO GUERRA CARVALHO

MANAUS

2020

ANA PAULA MILÉO GUERRA CARVALHO

**APLICAÇÃO DE PLASMA A FRIO ATMOSFÉRICO NA MODIFICAÇÃO DO
AMIDO DE ARIÁ (*Goepertia allouia Aubl.*) Borchs. & S. Suárez): EFEITO DA ALTA
TENSÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix

MANAUS

2020

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

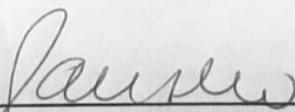
C331a Carvalho, Ana Paula Mileo Guerra
Aplicação De Plasma A Frio Atmosférico na modificação do amido de Ariá (*Goepertia allouia* Aubl.) Borchs.& S. Suárez): EFEITO DA ALTA TENSÃO / Ana Paula Mileo Guerra Carvalho, Domingos Rodrigues Barros. 2020
61 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Pedro Henrique Campelo Felix
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas.

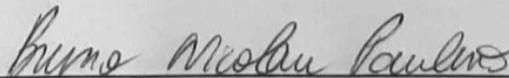
1. Modificação fontes de amidos. 2. *Goepertia allouia*. 3. amidos amazônicos. 4. métodos não convencionais. I. Barros, Domingos Rodrigues. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

Ata de Defesa Pública da dissertação de Mestrado da discente
ANA PAULA MILEO GUERRA CARVALHO, do Curso
de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais,
realizada no dia 03 de fevereiro de 2020.

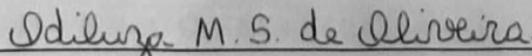
Às 10:00h do dia 03 de fevereiro de 2020 no Sala José Leitão do Bloco de Estatística do Instituto de Ciências Exatas - ICE, no Setor Norte do Campus Universitário da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, foi realizada a Defesa Pública de Dissertação de Mestrado da discente **ANA PAULA MILEO GUERRA CARVALHO**, intitulado **"APLICAÇÃO DE PLASMA A FRIO ATMOSFÉRICO NA MODIFICAÇÃO DO AMIDO DE ARIÁ (*Goeppertia allouia Aubl.*) Borchs. & S. Suárez): EFEITO DA ALTA TENSÃO"**, como parte final de seu trabalho para a obtenção de grau de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais. A Banca Examinadora constitui-se dos seguintes professores: Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix (Orientador e Presidente – PPGCEM), Prof.^a Dr.^a Odiluz Maria Saldanha de Oliveira (UFAM), Prof. Dr. Bruno Nicolau Paulino. (UFAM). Após a apresentação do trabalho, os examinadores fizeram as observações concernentes. Todas as sugestões da Banca Examinadora serão consideradas pela aluna. Em seguida, a Banca Examinadora reuniu-se e concedeu o conceito Aprovada (aprovada/não-aprovada). Coordenação da Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, em Manaus, 03 de fevereiro de 2020.



Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix (Orientador e Presidente)
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM/UFAM)



Prof. Dr. Bruno Nicolau Paulino
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



Prof.ª Dr.ª Odiluz Maria Saldanha de Oliveira
Instituto Federal do Amazonas – IFAM (Membro Externo)

ANA PAULA MILÉO GUERRA CARVALHO

**APLICAÇÃO DE PLASMA A FRIO ATMOSFÉRICO NA MODIFICAÇÃO DO
AMIDO DE ARIÁ (*Goepertia allouia Aubl.*) *Borchs. & S. Suárez*): EFEITO DA ALTA
TENSÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Aprovado em 03 de Fevereiro de 2020.

Prof.º Drº *Pedro Henrique Campelo Felix (Orientador)*

Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM)

Prof.ª Drª *Odiluzia Maria Saldanha de Oliveira*
Instituto Federal do Amazonas – IFAM (Membro externo)

Prof.º Drº *Bruno Nicolau Paulino*
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

AGRADECIMENTOS

A *Deus* acima de tudo, por me dá a vida e a coragem para viver a cada dia, por me capacita mesmo quando sinto que não sou capaz de prosseguir.

Dedico este trabalho aos meus *Pais* por me incentivarem a ir cada vez mais além, por todo sacrifício que fizeram na minha criação e por tudo que abriram mão para hoje alcançar este lugar, à minha família, pelo amor, incentivo e apoio constantes.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix**, pelos ensinamentos e liberdade durante essa pesquisa, pela amizade e principalmente pelos valiosos conselhos além de acreditar na minha capacidade e me inspirar a novos sonhos.

Ao meu **Noivo** pela paciência e companheirismo nessa caminhada, por ser meu grande incentivador e principal ouvinte.

À **Universidade Federal do Amazonas – UFAM** e a todos os servidores da instituição pela atenção e dedicação para conclusão deste trabalho;

Ao **Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPGCEM** pela oportunidade concedida;

Ao **Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, Campus Manaus Zona Leste, Campus Manaus Centro** por todo apoio e incentivo e a todos os servidores da instituição pela atenção e dedicação para conclusão deste trabalho.

À **Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Universidade Federal do Ceara – UFC**, a todos os servidores da instituição pela atenção e colaboração para conclusão deste trabalho;

Aos amigos e colegas de trabalho, **Domingos, José Lourenço, Flávia, Sheila Eleano, Everaldo, Miriam, Bruna, Alex Gomes, Alexandra, Silma, Cristyana, Ana Pontes, Cibele Viana, Ulliana, Cristina, Maria Teresa, Diogo, Lucas, Ayna, Cleidiane** pelo ajuda e apoio durante todo o desenvolvimento do trabalho dos momentos de descontração, mas principalmente pela força nos momentos difíceis.

RESUMO

Os amidos, na sua forma nativa, não apresentam características interessantes para indústria de alimentos como alta solubilidade em água, absorção de água e óleo ou formação de géis estáveis. Diversos métodos são utilizados para a modificação de amidos, com o desígnio de melhorar suas propriedades tecnológicas visando aplicação na indústria de alimentos. Devido à nova tendência mundial de modificação o plasma surge como uma tecnologia verde emergente, permitindo a criação de novas funcionalidades nos amidos devido as espécies reativas no plasma interagem com o amido, induzindo alterações químicas. A partir do exposto, este trabalho tem o objetivo de estudar a influência de diferentes tensões do plasma a frio na modificação do amido nativo de ariá (*G. allouia*). para este estudo, foram realizadas análises para determinar as propriedades físico-químicas, térmica, reológicas e morfológicas do amido nativo e do amido tratado com o plasma o efeito da tensão na modificação foi avaliada utilizando Análise de Variância (ANOVA) ao nível de significância de 5%, caso houvesse diferença significativa, foi utilizado testes de comparação de média de Duncan, com nível de significância de 5%. A partir dos resultados encontrados foi possível verificar as alterações nas propriedades do amido com: Diminuição no teor de amilose, aumento no teor de açúcares redutores, melhoria na hidrofobicidade, alteração na morfologia da superfície do grão onde foi possível visualizar a formação de poros, fissuras, corrosões e pequenas cavidades, redução do pH, aumento da solubilidade em água e absorção de água, redução da temperatura de gelatinização e retrogradação. A partir dos resultados obtivemos novas propriedades estruturais, funcionais e reológicas do amido. Tal conclusão contribui para ratificar que a utilização do plasma a frio pode ser utilizada como uma tecnologia alternativa para modificação do amido.

Palavras-chave: Modificação fontes de amidos, *Goeppertia allouia*, amidos amazônicos, métodos não convencionais.

RESUME

Starches, in their native form, do not present interesting characteristics for the food industry, such as high water solubility, water and oil absorption or stable gel formation. Several methods are used for the modification of starches, with the aim of improving its technological properties aiming at application in the food industry. Due to the new global trend of modification, plasma appears as an emerging green technology, allowing the creation of new functionalities in starches due to the reactive species in plasma interacting with starch, inducing chemical changes. From the export, this work aims to study the influence of different stresses of cold plasma on the modification of native arrow starch (g. *Allouia*). For this study, analyzes were carried out to determine the physical-chemical, thermal, rheological and morphological properties of native starch and starch treated with plasma. The effect of stress on the modification was evaluated using Analysis of Variance (ANOVA) at the significance level of 5%, if there was a significant difference, Duncan average comparison tests were used, with a significance level of 5%. From the results found it was possible to verify the changes in the properties of starch with: Decrease in the amylose content, increase in the content of reducing sugars, improvement in hydrophobicity, change in the morphology of the grain surface where it was possible to visualize the formation of pores, cracks, corrosion and small cavities, reduced pH, increased water solubility and water absorption, reduced gelatinization temperature and retrogradation. From the results we obtained new structural, functional and rheological properties of starch. This conclusion contributes to ratify that the use of cold plasma can be used as an alternative technology for modifying starch.

Keywords: Modification of starch sources, *Goepertia allouia*, Amazonian starches, unconventional methods.

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Raízes fibrosas do Ariá com formação de tuberosas elipsoidais na ponta.....	16
Figura 2. Raízes tuberosas do Ariá.....	17
Figura 3 (a) Estrutura da Amilose, (b) e sua conformação. Fonte: Singh <i>et al.</i> , 2003	22
Figura 4 Estrutura da amilopectina e a representação das regiões. Fonte: Buleón et al. (1998)	23
Figura 5 Medição de Cor e Brilho. Fonte: Delta vista, 2019.....	33
Figura 6 Propriedades de hidratação de gel de aria amido nativo e tratado com plasma frio. .	42
Figura 7 Curva de hidrólise do amido (A) e teor de amido de digestão rápida, digestão lenta e amido resistente (B) para os amidos de ariá nativo e tratados com plasma a frio.....	44
Figura 8 Curvas RVA de amidos de plasma frio nativo e tratado.....	46
Figura 9 MEV e imagens de luz polarizada (40 X) do amido ariá não tratado e tratado com plasma frio.....	51

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Teor de amilose, relação amilose/amilopectina, blue value e $\lambda_{\text{máx}}$ dos amidos de ariá nativo e tratados com plasma a frio em diferentes voltagens.	38
Tabela 2. Propriedades físico-químicas dos amidos de ariá nativo e tratados com plasma a frio em diferentes voltagens.	39
Tabela 3. Propriedades de cor dos amidos de ariá nativo e tratados com plasma a frio em diferentes voltagens	40
Tabela 4. Propriedades de pasta de amidos ariá não tratados ou plasma tratados.....	47
Tabela 5. Propriedades térmicas (gelatinização e retrogradação) dos amidos de ariá nativo e tratados por plasma a frio.	49
Tabela 6. Propriedades de textura (Força do gel e elasticidade) de amostras de amidos de ariá.	50

SUMÁRIO

1. SUMÁRIO	
2. INTRODUÇÃO.....	13
3.0 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	14
3.1 OBJETIVO GERAL.....	14
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	15
5.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
5.1 ARIÁ (<i>GOEPPERTIA ALLOUIA AUBL.</i>) BORCHS. & S. SUÁREZ).....	16
5.2 AMIDO.....	18
5.2.1 AMILOSE.....	21
5.2.2 AMILOPECTINA.....	22
5.3 MÉTODOS NÃO CONVENCIONAIS DE MODIFICAÇÃO DO AMIDO.....	24
5.3.1 MODIFICAÇÕES ENZIMÁTICAS DO AMIDO.....	23
5.3.2 MODIFICAÇÕES FÍSICAS DO AMIDO.....	24
5.32.1 ULTRASSOM.....	24
5.32.2 IRRADIAÇÃO GAMA.....	24
5.32.3 PLASMA FRIO.....	25
5.32.4 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS AMIDOS.....	27
5.33POTENCIAL TECNOLÓGICO DE APLICAÇÃO DO PLASMA A FRIO.....	27
6 MATERIAL E MÉTODO.....	30
6.1 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA.....	30
6.2 PROCESSAMENTO POR PLASMA A FRIO.....	30
6.4 DETERMINAÇÃO DO PH.....	31
6.5 DETERMINAÇÃO DA CLARIDADE DE PASTA.....	31
6.6 DETERMINAÇÃO DE AÇÚCARES REDUTORES.....	32
6.7 DETERMINAÇÃO DOS GRUPOS CARBONIL E CARBOXIL.....	32
6.8 ANÁLISE DE COLORIMÉTRICA.....	33
6.9 PROPRIEDADES DE HIDRATAÇÃO.....	33
6.10 ANÁLISE DE DIGESTIBILIDADE DOS AMIDOS.....	34
6.11 PROPRIEDADE DE FORMAÇÃO DE PASTA.....	34
6.12 ANÁLISES TÉRMICAS.....	35
6.13ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
7.0 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	37

7.1 PROPRIEDADES FÍSICO QUÍMICAS.....	35
7.2 TURBIDEZ	37
7.3 GRUPOS CARBONIL E CARBOXIL	
7.4 PH.....	39
7.6 COLORIMETRIA	40
7.9 PROPRIEDADE DE PASTA.....	44
7.10 ANÁLISES TÉRMICAS.....	48
7.11 FORÇA DE GEL	49
7.12 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA - MEV	50
8.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	50
8.1 CONCLUSÕES.....	50
8.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	50
9.0 REFERENCIAS.....	51

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Amidos são um dos polissacarídeos mais abundantes no mundo, sendo fonte de consumo principal de diversos países. Os amidos mais consumidos são os de batata, milho e arroz acarretando em uma dieta monótona, com pouca variedade de alimentos. Novas fontes amiláceas podem ser uma alternativa de além de oferecer uma maior variabilidade na alimentação, conhecer as propriedades físico-químicas visando diferentes aplicações na indústria de alimentos. Amidos de fontes não convencionais têm sido estudados nos últimos anos, como amido da semente de urucum (Zabot *et al.*, 2019), bambu (Felisberto *et al.*, 2019), oca (Zhu & Cui, 2019), Maori Potato (Zhu & Hao, 2019). Andean crops (Fuentes *et al.*, 2019) e *Caryota urens* (Sudheesh, Sunooj, & George, 2019).

O ariá (*Goepertia allouia* (Aubl.) Borchs. & S. Suárez) é um tubérculo pertencente à família das *Marantaceae* cultivado pelas populações indígenas na região Amazônica e em países da América tropical como Porto Rico, West Indies, Jamaica, Santa Lúcia e na região do Caribe. A literatura é muito escassa sobre o seu potencial tecnológico e nutricional, principalmente devido ao seu longo ciclo vegetativo, que pode durar entre 10 e 12 meses, com pouca atração para seu cultivo em larga escala (Gutiérrez, 2018; Teixeira *et al.*, 2016). Os poucos estudos sobre este tubérculo evidenciam suas propriedades prebióticas (Teixeira *et al.*, 2016) e a alta concentração de amidos resistentes (Gutiérrez, 2018), podendo trazer benefícios à saúde.

Os amidos, na sua forma nativa, não apresentam características interessantes para indústria de alimentos como alta solubilidade em água, absorção de água e óleo ou formação de géis estáveis. Diversos métodos (físicos e químicos) são utilizados para modificação de amidos, com o objetivo de melhorar suas propriedades tecnológicas visando aplicação na indústria de alimentos. Devido à nova tendência mundial de processos verdes, no qual o uso de resíduos químicos deve ser reduzido ou nulo, as técnicas de modificação de amidos por métodos limpos vêm ganhando o interesse dos pesquisadores e da indústria. Métodos como ultrassom (Falsafi *et al.*, 2019; Kang, Zuo, Hilliou, Ashokkumar, & Hemar, 2016), micro-ondas (Brasoveanu & Nemetan, 2014;

Lewicka, Siemion, & Kurcok, 2015), alta pressão (Colussi *et al.*, 2018; Du, Yang, Xu, Wang, & Du, 2019) e ozônio (Castanha, Matta Junior, & Augusto, 2017; Matta Junior, Castanha, dos Anjos, Augusto, & Sarmiento, 2019).

A tecnologia de plasma a frio é uma nova tecnologia para o setor de processamento de alimentos. É considerada uma tecnologia não térmica, pois apresenta boas características de modificação de alimentos, inativação de enzimas e destruição de microrganismos à temperatura ambiente. O plasma age nos alimentos através das espécies reativas formadas como elétrons, íons e radicais livres (Sudheesh, Sunooj, Sinha, *et al.*, 2019; Rohit Thirumdas, Kadam, & Annapure, 2017). A interação das espécies do plasma com o amido pode gerar três mecanismos possíveis de modificação, como reticulação, despolimerização e ataque químico (Rohit Thirumdas *et al.*, 2017). Alguns estudos recentes já confirmaram o efeito do plasma a frio na modificação de amidos como batata e arroz (Okyere, Bertoft, & Annor, 2019), arroz (R. Thirumdas, Trimukhe, Deshmukh, & Annapure, 2017), kithul (Sudheesh, Sunooj, Sinha, *et al.*, 2019) milho (Bie *et al.*, 2016) e milho e tapioca (Banura, Thirumdas, Kaur, Deshmukh, & Annapure, 2018).

A partir do exposto, este trabalho tem o objetivo de estudar a influência de diferentes tensões do plasma a frio na modificação de amidos nativos de ariá (*G. allouia*). Para este estudo, foram realizadas análises de determinação do teor de amilose, pH, Claridade de pasta (Turbidez), açúcares redutores, grupamentos carbonil e carboxil, colorimetria, propriedade de hidratação (Índice de solubilidade e absorção de água), digestibilidade, viscosidade de pasta, força de gel, microscopia eletrônica de varredura, microscopia com luz polarizada e Análises térmicas (gelatinização e retrogradação) determinados por calorimetria diferencial (DSC).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Utilização do plasma a frio na modificação do amido nativo do ariá (*Goeppertia allouia* (Aubl.) Borchs. & S. Suárez).

1.1.2 Objetivo Específico

- ✓ Modificação do amido nativo de ariá (*G. Allouia*) utilizando diferentes tensões do plasma a frio;
- ✓ Caracterizar o amido nativo e modificado de ariá pela determinação do teor de amilose, pH, açúcares redutores, grupamentos carbonil e carboxil.
- ✓ Estudar a morfologia do grão de amido nativo e modificado, através de ensaios utilizando microscopia eletrônica de varredura (M.E.V.) e microscopia com luz polarizada;
- ✓ Caracterizar as propriedades reológicas do amido nativo e modificado (força de Gel, Textura, claridade de pasta e viscosidade);
- ✓ Estudar a gelatinização e retrogradação por medidas de reologia dinâmica e ensaios de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC), analisando a influência das modificações físicas realizadas;

1.2 Estrutura da Dissertação

O texto desta Dissertação encontra-se subdividida da seguinte forma:

- ✓ No Capítulo 1 tem-se a visão geral da pesquisa, os objetivos do estudo e a forma da organização do trabalho.
- ✓ No Capítulo 2 é apresentada a revisão da literatura, em que se expõe a fundamentação teórica, sendo abordadas as informações sobre a espécie de estudo, composição centesimal, aplicabilidade, tipos de modificações e o potencial tecnológico de aplicação do plasma a Frio.
- ✓ No Capítulo 3 discutem-se a obtenção do material e as modificações por plasma a frio, a análise estatística e as metodologias adotadas.
- ✓ No Capítulo 4 são expostos os resultados alcançados com a modificação do material através das técnicas de caracterização.
- ✓ Por fim, no Capítulo 5 são formalizadas as conclusões do trabalho. Do mesmo modo, são sugeridas recomendações e sugestões para futuros trabalhos.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ariá (*Goepertia allouia Aubl.*) Borchs. & S. Suárez)

Pertence a família das marantaceae, podendo medir até 1,5m de altura, apresenta porção subterrâneo perene constituído por rizomas com desenvolvimento de brotos aéreos e curtos, suas folhas são em forma de lâmina oblonga e assimétrica com lígula sólida e forte, mede entre 20 e 60 cm de comprimento e 5 a 20 cm de largura as folhagens são densa, com inflorescência em espiga de 5 a 10 cm de comprimento com flores em espiral, com ramificações verdes e corolas brancas. Como pode ser visto na figura 1 as Raízes fibrosas, duras e retorcidas, no final das quais se formam raízes tuberosas elipsoidais a ovóides, de 1 a 5 cm de comprimento por 0,5 a 3,0cm de largura e estão cobertas por uma casca amarela e brilhante com protuberância espinhosa. Por baixo da casca encontra-se o tecido parenquimatoso de cor clara e esbranquiçada” (Revilla 2002a, b).



Figura 1. Raízes fibrosas do Ariá com formação de tuberosas elipsoidais na ponta.

Fonte: Domingos Rodrigues Barros, 2018.

Kinupp, 2014 descreve o Ariá como uma planta semi-perene, ereta, rizomatosa e cespitosa, alcançando até 1,5m de altura, seu caule é formado por pseudocaulis curtos. As folhas são largo-elípticas, de textura cartácea, glabras, distintamente discolores e marcadas pelas nervuras paralelas, de 30-50 cm de comprimento, possuem pecíolos longos e estriados, com pulvino amarelo. As inflorescências são densas, com brácteas verdes e ápices brancos; as flores são brancas, com um estaminódio e ovário trilobular. A floração é rara, ocorrendo em aproximadamente 1 a 2% das plantas,

consequentemente, quase não produz frutos e as sementes são inviáveis. As raízes são fibrosas e na ponta de algumas delas, pelo acúmulo de amido, inicia-se a formação das raízes tuberosas que, quando prontas, apresentam formato ovoide ou cilíndrico, medindo de 5 a 15 cm de comprimento por 2 a 4 cm de diâmetro conforme figura (Bueno, 1997; Nunes-Filho, 2010; Kinupp; Lorenzi, 2014).



Figura 2. Raízes tuberosas do Ariá.
Fonte: Domingos Rodrigues Barros 2018

O ariá (*Goeppertia allouia* (Aubl.) Lindl.). É uma espécie popularmente conhecida como lerén, variá, tupinambur e cocurito, tradicionalmente cultivadas por populações indígenas e ribeirinhas da América Tropical, sua região de origem (Bueno, 1997). Sua distribuição ocorre desde as Antilhas até a América do Sul, Na Amazônia, até o final da década de 1950, essa hortaliça era cultivada por agricultores em seus quintais. Tinham hábitos culturais de consumirem suas raízes em caldeiradas e, até mesmo, eram consumidas no café da manhã.

A raiz tuberosa pode ser consumida cozida, ou como acompanhamento de pratos (Revilla, 2001a) e tem gosto semelhante ao de milho cozido (Bueno, 1997). Os índios assam os tubérculos na cinza quente (Corrêa, 1984). A inflorescência é utilizada como hortaliça, a farinha fabricada a partir do tubérculo é utilizada para o consumo humano (Revilla, 2001b) e em adição, segundo Lamont *et al.*, (1999), pode se extrair também a goma.

A composição química do ariá com valor correspondente à 100g da raiz tuberosa do ária é de: água 88,0g, proteínas 0,5g, carboidratos 9,0g, fósforo 34,0mg, tiamina 0,04mg, niacina 0,04mg, valor energético 40,0cal, graxos 0,8g, fibra 0,8g, cálcio 15,0mg, ferro 3,1mg, riboflavina 0,03mg, ácido ascórbico 4,0mg. E de matéria seca,

cerca de 13% a 15% de amido e cerca de 6,6% de proteína. Apesar de o conteúdo protéico ser considerado de baixo teor, apresenta altos níveis de aminoácidos, principalmente os essenciais, como lisina e metionina, apresentando deficiências nos teores dos aminoácidos cisteína e triptofano somente (Martin & Cabanillas, 1976).

Marx & Maia (1983), verificaram a composição química dos nutrientes de *Goepertia allouia* são as seguintes: nas folhas 2,30%, 0,96%, 5,95%, 0,52%, 0,63%, 970ppm e 1,2 ppm; no rizoma 0,20%, 0,07%, 1,08%, 0,25%, 0,16%, 535 ppm e 10,2 ppm; na raiz 0,90%, 0,35%, 4,89%, 0,55%, 0,30%, 300 ppm e 13,4 ppm; no tubérculo 1,13%, 0,25%, 2,98%, 0,04%, 0,12%, 227 ppm e 2,7 ppm de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio e sulfato, respectivamente. (Varejão *et al.*, 1988).

Teixeira *et al.* (2016) estudando a farinha da raiz de ariá encontrou os seguintes teores médios de minerais (mg/100g): Fósforo (91,67), Potássio (861,67), Cálcio (16,00), Magnésio (38,33), Sódio (1,10), Cobre (0,07), Ferro (0,85), Manganês (0,07), zinco (0,36). Com relação à composição nutricional (g/100g) os autores relatam: umidade (11,26), cinza (2,72), lipídeo (0,88), proteína (4,16), fibra total (1,87), carboidratos (81,0), energia (kcal) (388,0). Os teores médios de aminoácidos foram calculados com base no conteúdo de aminoácidos essenciais e no padrão para crianças de 1 a 2 anos de idade, de acordo com as especificações da FAO/WHO/UNU (2007): Fenilalanina + tirosina (0,90), Histidina (0,90), Isoleucina (1,61), Leucina (0,80), Lisina (0,91), Metionina + cisteína (1,11), Treonina (0,41), Triptofano (3,81), Valina (1,71).

2.2 Amido

Os amidos são formados por polissacarídeos que são polímeros naturais de carboidratos, formados pela união de inúmeros monossacarídeos de fórmula estrutural $C_n(H_2O)_n$, como a glicose $C_6(H_{12}O_6)$ ligada entre si e representada pela fórmula geral $(C_6H_{10}O_5)_n \cdot x H_2O$. O amido é um polissacarídeo de reserva de plantas superiores sendo uns dos polissacarídeos mais abundantes na natureza. São acumulados nas plantas devido aos resíduos de glicose formados durante a fotossíntese, podendo ser encontrado no milho, trigo, mandioca, cevada, arroz, inhame, batata e aveia (Mali *et al.*, 2010).

O amido é o principal carboidrato de reserva para as plantas e uma considerável fonte de nutrição para os seres humanos e animais (Huang *et al.*, 2015), é um polissacarídeo, composto por dois polímeros: amilose, um polímero linear, e amilopectina, polímero altamente ramificado, abundante em sementes, raízes e tubérculos.

Os amidos se caracterizam pela insolubilidade em água fria, baixa estabilidade frente a ciclos de congelamento e descongelamento e tendência a retrogradação. Para ampliar a sua aplicação na indústria o amido nativo pode ser modificado para suprimir algumas dessas características indesejáveis (Miyazaki *et al.*, 2006) Assim, os amidos regulares podem ser modificados, visando adquirir maior estabilidade, melhorias das características reológicas da pasta, textura dos géis e da retenção de água, entre outros. (Gongalves *et al.*, 2009). Dessa forma, o amido processado industrialmente pode ser modificado enzimaticamente, fisicamente ou quimicamente.

As modificações podem ocorrer por reações degradativas ou não. As reações degradativas alteram a estrutura física e química do amido, de forma que suas propriedades não são mais reconhecidas. Nas reações não degradativas a aparência e até algumas características da estrutura física e química do amido são mantidas, de forma que pode ser difícil identificar se o amido foi modificado ou não (Silva *et al.*, 2006)

A maioria dos amidos nativos como o de milho, trigo ou batata contém de 20 a 30% de amilose. Existem amidos com o conteúdo de amilopectina maiores que 99%, que são extraídos de cereais modificados (amido ceroso). Na superfície granular pode ser encontrado um pequeno teor (0,6%) de proteínas e lipídios. Há também a presença de pequenas quantidades de cálcio, magnésio, potássio e sódio (Van Soest *et al.*, 1997).

O amido nativo pode ser classificado em três tipos de estruturas cristalinas a partir das diferenças nos difratogramas de raios X: Tipo A - amido de cereais, Tipo B - amido de tubérculos e Tipo C - amido de vagens (uma mistura de A e B).

No entanto, existem alguns fatores que limitam o uso de derivados do amido, como a hidrofobicidade (absorção de água), o aumento da cristalinidade do tipo B com o tempo, a baixa resistência ao impacto e propriedade de barreiras inferiores aos plásticos convencionais (Hulleman *et al.* 1999, Averous, 2001).

As principais propriedades do amido são: gelatinização, fusão, gelificação e retrogradação, as quais estão relacionadas ao processamento do amido nativo.

A gelatinização ocorre quando se aquece dispersões de amido acima de uma determinada temperatura chamada de temperatura de gelatinização (TG) com excesso de água, causando uma transição irreversível, com o inchamento do grão, fusão cristalina, perda da birrefringência, modificação do padrão de difração de raios X, desenvolvimento da viscosidade e solubilização do amido. A temperatura de gelatinização depende do tipo e da concentração do amido, do teor de umidade e da taxa de cisalhamento durante o aquecimento (Van Soest, 1996). Se o amido for aquecido na presença de pequena quantidade de água, o rompimento de seus grânulos é conhecido como fusão (Andrade, 2000).

Quando uma suspensão gelatinizada de amido é resfriada à temperatura ambiente, cria-se um “ambiente” propício ao favorecimento da cristalização das cadeias constituintes do amido suspenso. A retrogradação caracteriza-se pela associação da amilose por junções do tipo dupla-hélice e pela recristalização das cadeias de amilopectina suspensas (fenômeno bem mais lento que o anterior) (Parker *et al.*, 2001).

O amido é um dos principais contribuintes para a textura e consistência dos alimentos, sendo não somente a quantidade importante para as propriedades dos produtos, como também o tipo de amido, ou seja, a fonte de que é extraído. Algumas das mais recentes aplicações industriais do amido incluem: substituto de gordura em alimentos com baixas calorias emprego em materiais biodegradáveis, filmes e materiais termoplásticos (Bello-Pérez, *et al.*, 2006).

O amido é o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados, uma vez que contribui para diversas propriedades de textura em alimentos, possuindo aplicações industriais como espessante, estabilizador de coloides, agente gelificante e de volume, adesivo, na retenção de água, dentre outros (Singh *et al.*, 2003).

O amido é o agente espessante e gelificante mais utilizado na indústria de alimentos permitindo o desenvolvimento de um grande número de produtos, como sopas, pudins, flans, cremes, molhos, maioneses, alimentos prontos e semi-prontos para o consumo, entre outros (Muccillo, 2009).

O amido é classificado em função da sua estrutura físico-química e da sua susceptibilidade à hidrólise enzimática. De acordo com a velocidade com a qual o alimento é digerido *in vitro*, o amido divide-se em rapidamente digerível, quando ao ser

submetido à incubação com amilase pancreática e amiloglucosidase em uma temperatura de 37°C, converte-se em glicose em 20 minutos; lentamente digerível, se nas condições anteriores é convertido em glicose em 120 minutos. O amido resistente é constituído por três tipos de amido: o tipo um, que representa o grânulo de amido fisicamente inacessível na matriz do alimento, fundamentalmente devido às paredes celulares e proteínas, pertencendo a este grupo grãos inteiros ou parcialmente moídos de cereais, leguminosas e outros materiais contendo amido nos quais o tamanho ou a sua composição impede ou retarda a ação das enzimas digestivas; o tipo dois, que se refere aos grânulos de amido nativo, encontrados no interior da célula vegetal, apresentando lenta Digestibilidade devido às características intrínsecas da estrutura cristalina dos seus grânulos; e o tipo três, que consiste em polímeros de amido retrogradado (principalmente de amilose), produzidos quando o amido é resfriado após a gelatinização. Entre os fatores que influenciam a formação do amido resistente estão a gelatinização e a retrogradação do amido.

As Normas Técnicas (Brasil, 1978), que normatizam produtos amiláceos no Brasil, classificam os produtos em amidos ou féculas. Amido é o produto amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais, como por exemplo, sementes, frutos, etc. Fécula é o produto amiláceo extraído das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais (tubérculos, raízes e rizomas). O produto deverá ser designado amido ou fécula, seguido do nome do vegetal de origem, tais como amido de milho, fécula de batata (Cereda; Vilpoux, 2003).

2.2.1 Amilose

A amilose é um polímero linear composto quase que completamente de ligações α (1- 4) de D-glucopiranosose como demonstrado na Figura 1. A amilose possui peso molecular de 105 a 106 unidades e com resíduos de glicose por molécula que variam de 500 a 5000 (Feniman, 2004).

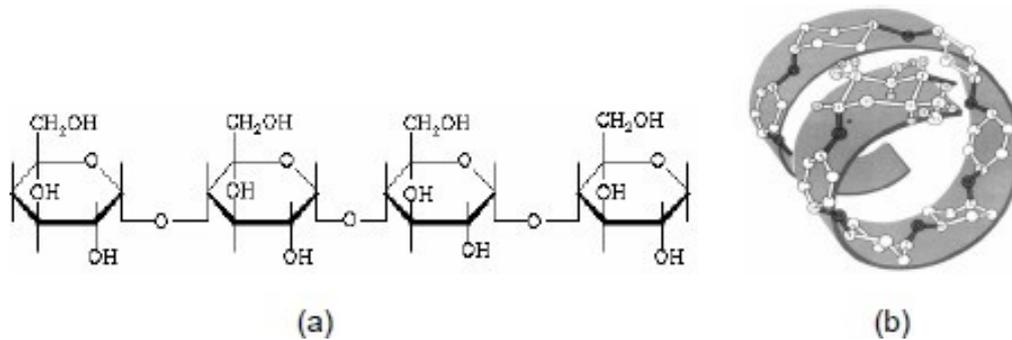


Figura 3 (a) Estrutura da Amilose, (b) e sua conformação. Fonte: Singh *et al.*, 2003

Os complexos amilose-lipídeos são insolúveis em água e requerem temperaturas mais elevadas para dissociar-se, podendo alterar as temperaturas de gelatinização do amido, a textura e o perfil da viscosidade da pasta, e limitando a retrogradação (Singh *et al.*, 2003).

O teor de amilose varia de acordo com a maturidade e origem das plantas e a sua determinação pode ser afetada pelo tipo de metodologia e preparação da amostra, bem como pelo comprimento das cadeias laterais de amilopectina (se eles são demasiado longos também pode absorver o iodo e superestimar o teor de amilose aparente (Ascheri *et al.*, 2014)).

2.2.2 Amilopectina

A amilopectina foi descrita por Zambrano e Camargo (2001) como uma grande molécula altamente ramificada. Essas moléculas de amido desenvolvem-se a partir de uma única unidade de α - D - glucopiranosil que são adicionadas sequencialmente, doadas pelas moléculas de adenosina difosfato glicose para produzir uma cadeia de unidades - D - glucoporinanosil unidas por ligações α (1-4), como pode ser observado na Figura 2. A ramificação se dá através de uma ligação α (1-6). Esses pontos de ligação das ramificações constituem 4 a 5% do total de ligações.

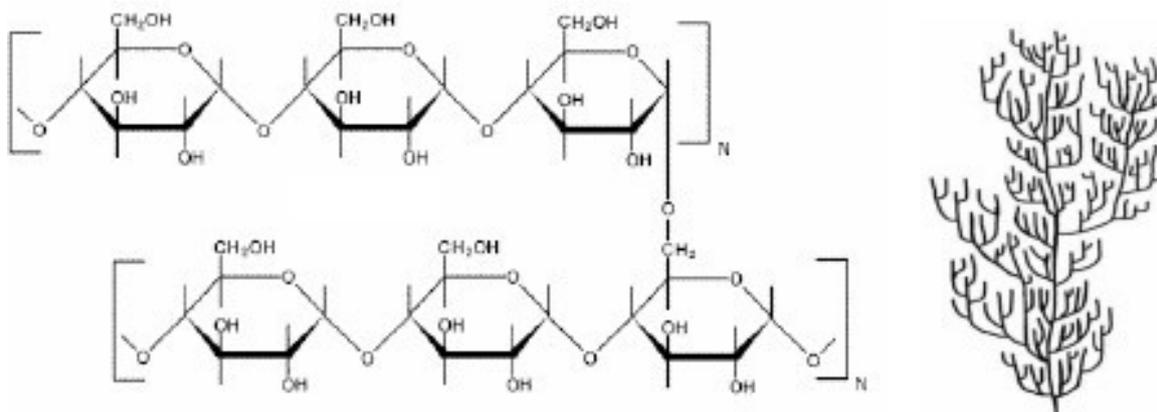


Figura 4 Estrutura da amilopectina e a representação das regiões. **Fonte:** Buleón et al. (1998)

Segundo Buleón *et al.* (1998) e Lajolo & Menezes (2006), a amilopectina é digestivamente degradada pela ação da β -amilase nas uniões α -(1-4), produzindo dextrinas β - limite (cadeias residuais que contém os pontos de ramificação) e, posteriormente, por ação das enzimas pululanase e isoamilase que atuam nas ligações α -(1-6), produzindo maltose.

As cadeias de amilopectina estão organizadas de maneiras diferentes, sugerindo uma classificação de cadeias A, B e C (Figura 2A). O tipo A é composto por uma cadeia não- redutora de glicoses unidas por ligações α -(1,4) sem ramificações, sendo unida a uma cadeia tipo B por meio de ligações α -(1,6). As cadeias do tipo B são compostas por glicoses ligadas em α -(1,4) e α -(1,6), contendo uma ou várias cadeias tipo A e podem conter cadeias tipo B unidas por meio de um grupo hidroxila primário. A cadeia C é única em uma molécula de amilopectina, sendo composta por ligações α -(1,4) e α -(1,6), com grupamento terminal redutor (Eliasson, 1996; Eliasson, 2004; Vandeputte & Delcour, 2004; Lajolo & Menezes, 2006).

A amilopectina é, estrutural e funcionalmente, a mais importante das duas frações, pois sozinha é suficiente para formar o grânulo, como ocorre em mutantes que são desprovidos de amilose. Quanto à amilose, sua localização exata dentro do grânulo ainda é uma tarefa difícil. Acredita-se que ela esteja localizada entre as cadeias da amilopectina e aleatoriamente entremeadada entre as regiões amorfas e cristalinas (Tester *et al.*,2004).

2.3 Métodos não convencionais de modificação do amido

A modificação do amido pode ser realizada através de modificação física (tratamento com umidade-calor, recozimento, retrogradação, pré-gelatinização), modificação química (reticulação, esterificação, tratamento com ácido, oxidação), modificação enzimática, modificação genética, modificação diferente tipos. (Kim *et al.*, 2012).

As modificações físicas são técnicas que utilizam princípios da física, em seus tratamentos como a radiação ionizantes (γ - irradiação e elétron feixe), Ultrassom, Micro-ondas, Alta pressão, Ozônio e o Plasma a frio e são consideradas métodos não convencionais são considerados mais rápido de baixo custo e ambientalmente amigável, não usam agentes poluentes, não permitem a penetração de substâncias tóxicas nos produtos tratados, não geram resíduos e não necessitam de catalisadores e laboriosa preparação da amostra. Que os diferem dos métodos químicos clássicos de modificação de amidos os quais apresentam algumas desvantagens como formação de efluentes, longo tempo de reação e alto gasto de energia, já os métodos físicos apresentam-se mais vantajosos, por não necessitar estudos que comprovem sua inocuidade, não gerar efluentes e os amidos modificados são considerados ingredientes naturais em alimentos. (Brasoveanu *et al.*, 2010a, b). As modificações físicas são opções mais saudáveis para os consumidores, em comparação com modificações químicas e enzimáticas (Zhu, 2011).

2.3.1 Modificações enzimáticas do Amido

Nas últimas décadas, foram adotadas modificações enzimáticas, substituindo parcialmente os métodos químicos e físicos para a preparação de amido modificado, devido às enzimas serem mais seguras e saudáveis do que a utilização de método químico, tanto para o ambiente quanto para os consumidores de alimentos. (Park *et al.*, 2018)

As enzimas têm sido usadas tradicionalmente para modificar os amidos nativos e criar produtos com propriedades alteradas de solubilidade, viscosidade e / ou gelificação que encontram amplas aplicações em alimentos, papel, têxtil e outras indústrias. (Wang, 2010). Os métodos enzimáticos também conferem novas propriedades aos amidos nativos adequados para aplicações específicas (Sahnoun, 2016).

2.3.2 Modificações Físicas do Amido

2.3.2.1 *Ultrassom*

É método de modificação física que vem ganhando espaço na indústria de alimentos, devido apresentar mostram baixo impacto no meio ambiente e na qualidade higiênica dos alimentos (Barraza, 2016).

O ultrassom refere-se às ondas acústicas com frequência acima de 20kHz e a energia associada é transformada em uma forma quimicamente viável pelo efeito de cavitação. O fenômeno da cavitação gera aquecimento local e induz danos granulares e moleculares ao amido. Além de formação de radicais hidróxidos e hidrogênio criados pelo colapso das bolhas de cavitação auxiliam no ataque aos grânulos de amido e até contribuem para as modificações químicas dos polímeros. (Kardos, 2001, Zuo 2012).

2.3.2.2 *Irradiação Gama*

A radiação gama são radiações eletromagnéticas emitidas a partir do núcleo excitado de elementos como ^{60}Co e ^{137}Cs . A radiação gama é a forma de radiação mais barata para a conservação de alimentos, uma vez que os elementos fonte são subprodutos da fissão atômica ou resíduos de produtos atômicos. (Jay, 2009).

A modificação do amido por técnica de irradiação é um desenvolvimento iminente e o comumente usado é γ - irradiação (Kong *et al*, 2009), que é uma radiação ionizante, sem efeito térmico. O processamento de γ -irradiação envolve o uso de um isótopo radioativo, sob a forma de cobalto-60 ou césio-137, que emite raios- γ de alta energia ou fótons capazes de intrometer-se em profundidade para o produto-alvo, até vários metros (Oliveira *et al.*, 2014).

O amido, ao ser irradiado, pode ter as ligações glicosídicas das macromoléculas quebradas por ação dos radicais livres gerados pela radiação, transformando-as em cadeias menores. Se a energia não for suficiente para ionizar estas moléculas, pode resultar em um estado eletronicamente excitado Bhat *et al.* 2009. O uso de radiação gama reduz progressivamente o peso molecular de amilose e amilopectina, diminuindo a viscosidade e aumentando a solubilidade Chung *et al.*, 2009.

2.3.2.3 Plasma Frio

O plasma é conhecido como o quarto estado da matéria, pode ser definido como um gás ionizado, constituído por uma mistura de elétrons, átomos, moléculas altamente excitadas, íons, radicais e partículas neutras. O plasma é dividido em duas categorias: plasma de alta temperatura, equivalente a temperatura da fusão nuclear e plasma de baixa temperatura inferior a 70 mil Kelvin. O plasma de baixa temperatura é subdividido em plasma térmico e não térmico. O plasma não térmico da pressão atmosférica pode ser gerado à temperatura ambiente (290–300K) sem qualquer extinção. As vantagens desse plasma não térmico em aplicações alimentares podem incluir sua aplicabilidade em alguns compostos termossensíveis, menor custo e um aumento na eficiência do tratamento (Nehra *et al.*, 2008, Fridman, 2008, Misra *et al.*, 2011).

O plasma térmico é considerado em equilíbrio termodinâmico quando a temperatura dos elétrons é semelhante à temperatura das espécies constituintes do gás. Esta condição de plasma térmico é extrema e altamente energética operando em temperaturas acima de 3 mil Kelvin. Ao contrário, quando a temperatura dos elétrons é muito maior do que a das espécies oriundas do gás, o plasma é considerado em desequilíbrio termodinâmico local, definido como plasma frio, e possibilita sua manipulação em condições mais seguras e aplicações mais controladas operando em temperatura ambiente (Friedrich, 2012).

O tratamento com plasma de oxigênio pode aumentar a energia superficial de um polímero, enquanto que o tratamento com um plasma de flúor pode diminuir sua energia superficial e sua inércia química. Já a densidade de ligações cruzadas na superfície de um polímero, pode ser aumentada através da utilização de um plasma de gás inerte, o que inibe a migração de oligômeros da massa para a superfície e permite a reorientação de grupos hidrofílicos (Liston, 1993).

É necessário controlar os múltiplos parâmetros de processo durante o tratamento a plasma, tais como: a frequência de RF, nível de potência; fluxo, composição e pressão de gás; nível de vácuo; temperatura e tempo de exposição da amostra e geometria do reator. Este fato dificulta o controle preciso da formação de uma determinada quantidade de grupo funcional na superfície (Everaert, 1996).

A química do plasma depende do tipo e composição dos gases alimentados na unidade de plasma, umidade, potência aplicada e tempo de tratamento (Misra, *et al.*, 2016). O tipo de gás utilizado pode levar à introdução de hidroxilos, cetonas, aldeídos, ésteres e radicais livres, como no caso de plasmas de dióxido de carbono e gás argônio (Desmet *et al.*, 2011). O plasma frio tem sido aplicado em áreas como a inativação de microrganismos (Moreau, Orange, & Feuilloley, 2008) e a inativação enzimática (Misra *et al.*, 2016).

O plasma de tratamento de baixa temperatura pode ser dividido em plasma de deposição (polimerização e grafitação) e plasma de ablação, os quais apresentam efeitos totalmente opostos, dependendo diretamente do gás do plasma usado. Se o gás do plasma apresenta elevada proporção de átomos de carbono e de hidrogênio em sua composição, tais como metano, etileno e etano, o plasma resultante será o de deposição. Por outro lado, se o gás do plasma apresenta elevada afinidade eletrônica, tais como gás oxidante, ar, CF₄ ou SF₆, o plasma terá forte tendência à ablação (Chan, 1996).

A técnica de plasma frio pode ser utilizada para gerar camadas protetoras (resistência à abrasão, dureza da superfície, resistência ao calor etc.) nas superfícies poliméricas, criando ao mesmo tempo novas propriedades superficiais como inércia química, biocompatibilidade, etc. A deposição de filmes finos por plasma frio apresenta inúmeras vantagens: quase todas as substâncias químicas voláteis podem ser utilizadas como monômeros, o processo de recobrimento ocorre em apenas uma etapa de reação, são necessárias somente pequenas quantidades do monômero para dar início ao processo e o método não é energeticamente intenso.

A tecnologia do plasma pode ser considerada como uma abordagem física para a modificação do amido. Pois gera diferentes tipos de espécies reativas que interagem induzindo alterações químicas as quais podem favorecer o desenvolvimento de novas funcionalidades para o amido. As interações entre plasma e amido podem ocorrer mediante aos mecanismos, como reticulação e despolimerização (Morent, De Geyter *et al.*, 2011, Zhu, 2017).

O tratamento com plasma a frio dos alimentos pode produzir uma ampla gama de efeitos benéficos, incluindo maior vida útil, aumento na taxa de germinação das sementes, redução no tempo de cozimento do arroz, modificação do amido, inativação microbiana, funcionalização, inativação de enzimas, alteração das propriedades hidrofílicas / hidrofóbicas, gravura ou deposição de filmes finos etc. (Misra, Tiwari,

Raghavarao, & Cullen, 2011; Thirumdas, Sarangapani e Annapure, 2015).

Thirumdas, Saragapani, Ajinkya, Deshmukh e Annapure (2016) relataram uma diminuição no tempo de cozimento do arroz e um aumento na taxa na qual as moléculas de amilose lixiviam durante o cozimento após o tratamento com um plasma frio de radiofrequência de baixa pressão gerado usando ar. O tratamento com plasma pode alterar ou não afetar as temperaturas de gelatinização e a entalpia (ΔH) quando medidas por calorimetria de varredura diferencial.

A utilização do plasma em amido permite o aumento da digestibilidade do através da substituição parcial para carboidratos simples, como glicose e maltodextrinas, em preparados alimentícios.

2.3.2.3 Caracterização das propriedades dos Amidos

A recristalização ou retrogradação ocorre após o processo de gelatinização, as cadeias de amilose, se reorganizam através da formação da ligação de duplas hélices por pontes de hidrogênio. Durante o esfriamento e/ou envelhecimento, estas hélices formam estruturas cristalinas tridimensionais altamente estáveis. O amido retrogradado é insolúvel em água fria e torna-se mais resistente ao ataque enzimático devido a perda da birrefringência, não sendo mais possível visualizar a cruz de Malta sob luz polarizada (Germani, 1999). Através das análises de microscopia que são técnicas não destrutivas é possível examinar os grânulos resultantes do processo de modificação seja física, química ou biológica devido à degradação não ocorrer da estrutura dos grânulos, contribuindo para sua caracterização, principalmente quando se estuda amidos de diferentes fontes botânicas, com diferentes tratamentos de modificações.

2.4 Potencial tecnológico de aplicação do plasma a Frio.

2.4.1 Estado da arte: Aplicação do Plasma a frio para a modificação em outras fontes amiláceas.

2.4.2 Amido de milho

Tsung – Yen *et al.*, 2019, estudaram a influências do jato de plasma de pressão

atmosférica nas diferentes propriedades físico-químicas do amido de milho. Eles observaram que após o tratamento em diferentes potências (400 W-800 W). O amido sofreu modificações nas propriedades físico-químicas, sendo possível obter um amido com baixa viscosidade, melhor estabilidade ao resfriamento de pasta, redução da retrogradação, aumento da solubilidade e claridade de pasta.

2.4.3 Amido Ceroso e Tubérculos

Okyere *et al.*, 2019, Estudaram a modificação dos amidos cerosos de cereais e tubérculos com plasma frio de radiofrequência e seus efeitos nas propriedades desses amidos: Onde foi possível verificar a redução da viscosidade, aumento do amido resistente no milho ceroso e batata. Formação de hélices simples do tipo V, no milho ceroso e a arroz. E dano na estrutura do amido.

2.4.4 Amido de Arroz

Thirumdas *et al.*, 2017 Estudaram a alterações sofridas nas propriedades funcionais e reológicas do amido de arroz tratado com plasma frio sendo possível observar a despolimerização e a reticulação das cadeias, diminuição da temperatura de gelatinização, alteração nas viscosidades e a presença de fissuras nos grânulos de amido após o tratamento.

CAPÍTULO 3

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Preparação da Amostra

Os tubérculos do ariá (Autorização do SISGEN AF97191) foram obtidos no município de Manaus, Brasil. Os tubérculos foram lavados, sanitizados (solução de hipoclorito 200 ppm), descascados e triturados em moinho de facas (1:2 tubérculo/água). Após trituração, as massas obtidas foram filtradas em filtros de tecido de poliéster. O filtrado foi mantido estático por 15 horas para decantação do amido. O sobrenadante foi retirado e o amido lavado sucessivas vezes até obtenção de colocação branca. A pasta de amido foi submetida à secagem em estufa com circulação de ar a 40 °C por 16 h. Após secagem os amidos foram armazenados em embalagens plásticas, temperatura ambiente e local seco até a realização das análises.

3.2 Processamento por plasma a frio

Aproximadamente 20 g de amido foram colocados e espalhados uniformemente em placas de Petri de vidro ($\varnothing = 90$ mm). A altura da camada de amido foi de aproximadamente 3 mm. Então, os amidos foram tratados com plasma a frio atmosférico do tipo placas paralelas (Modelo PLS 0130, Inergiae, Brazil) em 4 diferentes tensões de plasma: 7, 10, 14 e 20 kV. A frequência de excitação do plasma (200 Hz), tempo de processamento (15 min) e a distância entre os elétrodos (15 mm) foram constantes para todos os tratamentos. Após processamento, os amidos foram armazenados em embalagens plásticas, protegidos de umidade, e em temperatura ambiente até posteriores análises.

3.3 Determinação do Teor de amilose

O teor de amilose foi determinado por método espectrofotométrico (Castanha *et al.*, 2017), com modificações. 0,5 g de amido foram dispersos em 1 mL de etanol (95%

purity) e 10 mL de solução de hidróxido de sódio (0,09 M). As amostras foram homogeneizadas e aquecidas em banho térmico a 100 °C por 9 min para gelificação completa do amido. Após aquecimento, as soluções foram resfriadas em temperatura ambiente por 30 min e completado volume para 100 mL com água destilada. Então, 5 mL da solução do amido geleificado foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL e adicionado 1 mL de solução de ácido acético (1 M), seguindo de agitação. Após agitação, 2 mL de solução de iodo (0,2 g de iodo metálico, 2 g de iodeto de potássio e completado água destilada para 100 mL) foram adicionados ao balão volumétrico e completado com água destilada. As soluções foram homogeneizadas, mantidas estáticas por 30 min para formação do complexo de cor azul e submetidas à leitura em espectrofotômetro a 620 nm (o valor de absorbância neste comprimento de onda equivale ao Blue value). O mesmo procedimento foi realizado com padrões de amilose e amilopectina para obtenção de curva padrão. Também, foi realizada leitura na faixa de 500 – 700 nm para verificar quais foram os picos máximos de absorção do completo iodo-amido ($\lambda_{máx}$) e se houve deslocamento destes picos em relação a 620 nm.

3.4 Determinação do pH

Foram preparadas cinco solução de amido em água (10 % m/v), controle e com as diferentes modificações, elas foram mantida em agitação constante e a medida do pH foi realizada através de um peagâmetro digital.

3.5 Determinação da Claridade de pasta

A turbidez foi determinada por método espectrofotométrico modificado (Craig, Maningat, Seib, & Hosoney, 1989), Foram preparadas soluções de amido (1% w/v) sendo elas: controle (nativo), mais amido tratados com o plasma. As amostras foram submetidas à gelificação em água fervente por 30 min com agitação constante, logo após foram resfriadas até temperatura ambiente (~25 °C) as soluções foram submetidas à medida de absorbância em espectrofotômetro de UV-Vis em 650 nm.

3.6 Determinação de Açúcares redutores

Os açúcares redutores das amostras de amido nativo e amidos tratados com plasma a frio foram mensurados conforme metodologia colorimétrica com reagente de Somogyi-Nelson (Castanha *et al.*, 2017).

3.7 Determinação dos Grupos carbonil e carboxil

Os grupamentos carbonil e carboxil formados durante o processo de modificação do amido de ariá por plasma a frio foram determinados por método titulométrico (Castanha, Lima, Matta Junior, Campanella, & Augusto, 2019). Para os grupos carboxil, foram utilizados aproximadamente 2 gramas de amidos e preparada suspensão em 25 mL de solução de HCl (0.1 M) com agitação constante por 30 min (100 rpm). As amostras foram filtradas e o amido lavado com água destilada. O amido retido foi misturado com 300 mL de água destilada e submetido a aquecimento em água fervente por 30 min para gelatinização da amostra. As amostras (ainda quentes) foram tituladas com solução de NaOH (0.1 M) até a obtenção de pH 8,3. A quantidade do grupo carboxil (unidade por 100 unidades de glicose) formado foi calculado de acordo com a Eq. 1. Para o grupo carbonil, utilizou-se cerca de 3 gramas de amido, os quais foram adicionados em 100 mL de água e submetidos à gelatinização por 30 min. As amostras foram resfriadas até atingirem a temperatura de 40°C e o pH foi ajustado para 3,2 a partir da solução de HCl (0.1 M). As amostras de amido foram misturadas em 15 mL de hidroxilamina (a solução é formada por 10 g de cloridrato de hidroxilamina, 40 mL de solução NaOH (0,5 M) e água destilada até completar 200 mL de solução) e mantidas em banho térmico a 40 °C por 4h. As amostras foram tituladas até pH 3,2 usando solução de HCl (0,1 M). A quantidade de grupos carbonil (unidade por 100 unidades de glicose) formados foi calculada de acordo com a Eq. 2.

$$\frac{COOH}{100 GU} = 100 \times \frac{(V_S - V_b) \times M \times 0.045}{S} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\frac{CO}{100 GU} = 100 \times \frac{(V_b - V_S) \times M \times 0.028}{S} \quad \text{Eq. 2}$$

No qual, V_s é o volume de NaOH (carboxyl) ou HCl (carbonyl) para as amostras tratadas com plasma a frio; V_b é o volume de NaOH (carboxyl) ou HCl (carbonyl) para a amostra padrão (não tratada); M é a molaridade de NaOH (carboxil) ou HCl (carbonil) e S é a quantidade de amido (em base seca).

3.8 Análise de Colorimétrica

Foi realizada análise de colorimétrica no IFAM/CMC, utilizando espectrofotômetro portátil Delta Vista, modelo 450G, empregando iluminante D65 e geometria 45/0 conforme ilustra a figura 5, a leitura foi realizada na faixa espectral de 400 a 700nm. Os valores de cor foram expressos no sistema CIELAB. Tendo como parâmetro a percepção de cores em termos de espaço tridimensional, sendo a coordenada L^* (luminosidade), variando de 0 (preto) a 100 (branco). As coordenadas a^* e b^* não apresentam limites numéricos específicos, onde a coordenada a^* varia de vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$), e a coordenada b^* do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$). Os dados foram obtidos utilizando o Software i7, disponibilizado pelo fabricante.

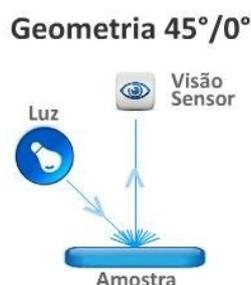


Figura 5 Medição de Cor e Brilho. Fonte: Delta vista, 2019

3.9 Propriedades de hidratação

As análises de Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção de Água (IAA) foram determinados por método gravimétrico (De La Hera, Gomez, & Rosell, 2013) em diferentes temperaturas (55, 65, 75, 85 e 95 °C). ISA (%) e IAA (g água. g^{-1} amido insolúvel) foram calculados pelas Equações 3 e 4:

$$ISA = 100 \times \frac{W_s}{W_i} \quad \text{Eq. 3}$$

$$IAA = \frac{W_r}{W_i} \quad \text{Eq. 4}$$

No qual W_s é o sobrenadante seco; W_i é a massa inicial de amido e W_r amido precipitado.

3.10 Análise de Digestibilidade dos amidos

A digestibilidade dos amidos nativo e tratados com plasma a frio foram avaliados através de método enzimático (Castanha, Santos, Cunha, & Augusto, 2019; De La Hera *et al.*, 2013). Onde foram preparadas soluções de amido nativo e tratados e incubados a 37 °C, com agitação constante (100 rpm) foram adicionados soluções de enzimas (amilase 120 U.mL⁻¹ e amiloglicosidase 80 U.mL⁻¹) em cada amostra. Após um de intervalos de 10 min (para os primeiros 60 min) e 20 min (para os últimos 60 min), foram retiradas alíquotas, misturados a 4 mL de solução de etanol (80%) para a inativação das enzimas. O teor de glicose foi medido com kit para método de oxidase peroxidase (GOPOD, kit com método glicose GOD Labtest, Brazil). A absorbância foi medida usando um leitor de microplacas Epoch (Biotek Instruments, Winooski, EUA) a 510 nm. O amido foi calculado como glicose (mg) × 0,9. A partir das alíquotas de 20 e 120 min foram mensurados os teores de glicose (descrito anteriormente) os açúcares redutores (seção 4.6). Amido digerível rapidamente (RDS), amido digerível lentamente (SDS) e amido resistente (RS) foram determinados pelas Equações 5 – 7.

$$RDS (\%) = 100 \times 0.9 \times \frac{G_{20} - FG}{TS} \quad \text{Eq. 5}$$

$$SDS (\%) = 100 \times 0.9 \times \frac{G_{120} - G_{20}}{TS} \quad \text{Eq. 6}$$

$$RS (\%) = 100 \times \frac{TS - RDS - SDS}{TS} \quad \text{Eq. 7}$$

No qual G20 e G120 são os teores de glicose nos tempos de 20 e 120 min, respectivamente; FG é glicose livre; e TS é o amido total.

3.11 Propriedade de formação de Pasta

A partir das curvas de RVA foram obtidos parâmetros como: Peak apparent viscosity (PAV; cPa), trough apparent viscosity (TAV; cPa), breakdown (BD; cPa), final apparent viscosity (FAV; cPa), setback (SB; cPa) and pasting temperature (PT; °C). Relative breakdown (RBD; %) e relative setback (RSB; %) são definidos como (Eq 8 and 9):

$$RBD (\%) = \frac{BD}{PAV} \quad \text{Eq. 8}$$

$$SBD (\%) = \frac{SB}{TAV} \quad \text{Eq. 9}$$

3.12 Análises térmicas

As propriedades térmicas de gelatinização e retrogradação dos amidos de ariá nativo e tratados com plasma a frio, foram determinadas por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) (Sun, Wang, Ma, & Wang, 2020), com pequenas modificações. Foram adicionados 2 mg de amidos, os quais foram misturados a 2 µL de água destilada, acondicionados em painelas de alumínio, seladas hermeticamente e mantidas à 4 °C por 24 horas até a realização das análises térmicas. As amostras foram aquecidas de 25 a 130 °C, tendo como taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹ em atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 mL.min⁻¹. A partir das curvas de DSC foram obtidas a temperatura inicial, temperatura de pico e temperatura final de gelatinização e a variação da entalpia de gelatinização ($\Delta H_{gelatinização}$). Após análise, as amostras foram armazenadas a 4 °C por 14 dias e novamente submetidas a aquecimento nas mesmas condições citadas. A partir dos dados da curva de DSC da segunda corrida, foram obtidas a temperatura inicial, de pico e final de retrogradação e a variação de entalpia da retrogradação ($\Delta H_{retrogradação}$). Retrogradação (%) é definida como (Equação 10):

$$R(\%) = \frac{\Delta H_{retrogradação}}{\Delta H_{gelatinização}} \quad \text{Eq. 10}$$

3.13 Análise Estatística

Para avaliar o efeito da tensão do plasma frio nas propriedades físico-químicas dos amidos de ariá, foi utilizado Análise de Variância (ANOVA) ao nível de

significância de 5%. Caso houvesse diferença significativa, foi utilizado testes de comparação de média de Duncan, com nível de significância de 5%. O software R foi utilizado para as análises estatísticas

CAPÍTULO 4

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físico químicas

O ariá é uma fonte botânica no qual o seu amido apresenta uma grande quantidade de amilose, com valores superiores a 35% (Orjuela-Baquero, Fernández-Trujillo, & Hernández, 2016) corroborando com os valores de amilose encontrados para o amido de ariá no nosso estudo. O teor de amilose foi afetado significativamente ($p < 0.05$) com a aplicação de plasma nos amidos de ariá. Nota-se que há uma redução do teor de amilose até o plasma com tensão elétrica com menores resultados para 14 kV. A redução no teor de amilose é devida à formação de açúcares mais simples, como glicose, maltose, maltotriose de cadeias poliméricas de amilose, causada pela interação entre os radicais livres do plasma com as ligações glicosídicas (Rohit Thirumdas *et al.*, 2017; Zhu, 2017).

O plasma de alta voltagem em ar atmosférico gera muitas espécies reativas principalmente ozônio (Pankaj, Wan, Colonna, & Keener, 2017). A oxidação causada por ozônio tende a acontecer na fase amorfa de amidos (Gozé, Rhazi, Pauss, & Aussenac, 2016). Por isso a amilose é mais afetada durante o processo de modificação por oxidação.

Uma observação importante é que para tensão elétrica de 20 kV há uma tendência de aumento do teor de amilose em relação a tensões menores como 10 e 14 kV. Este pequeno aumento pode estar relacionado à despolimerização das cadeias laterais de amilopectina causando a formação de cadeias menores de amilose (Banura *et al.*, 2018).

O Blue value and $\lambda_{m\acute{a}x}$ estão relacionados com o grau de polimerização da amilose e o comprimento médio da cadeia de amilose e amilopectina (Pal *et al.*, 2016). A redução do teor de amilose dos amidos tratados é consistente com a redução do $\lambda_{m\acute{a}x}$ mudando de 606 nm para faixa de 582 – 604 nm. Esse deslocamento para bandas de menores comprimentos de onda confirmam a tendência do aumento das cadeias de amilopectina para os amidos tratados com plasma já que a amilopectina apresenta maior

pico de absorção em 540 nm (amylopectin-iodine complex) (Sorndech *et al.*, 2015). A redução de $\lambda_{m\acute{a}x}$ está associada com a presença de glucanos mais curtos de amilopectina causados pela clivagem das ligações glicosídicas da amilose pelas espécies reativas do plasma. Essas cadeias mais curtas de amilopectina se ligam a outras cadeias, aumentando a extensão das cadeias amilopectina do amido (Boonna, Rolland-Sabaté, Lourdin, & Tongta, 2019). Redução de $\lambda_{m\acute{a}x}$ com aumento da tensão também foi observado para estudos com aplicação do plasma a frio em farinha de arroz (Pal *et al.*, 2016).

O teor de açúcares redutores dos amidos de arizã tratados com plasma a frio aumentou significativamente (p-value<0.05) em relação ao amido nativo. O maior valor observado de açúcares redutores foi para o tratamento 14 kV confirmando que este valor tensão tem alta tendência em agir nas ligações químicas entre moléculas de glicose mais que a tensão de 20 kV. Apesar de ser observado que o aumento da tensão do plasma causa aumento da concentração de açúcares redutores (Sarangapani *et al.*, 2016), tensões mais altas podem favorecer a quebra de ligações α -1,4 (amilose) e alta energia do plasma pode favorecer novas ligações α -1,6, aumentando as cadeias de amilopectina. Este comportamento pode ser confirmado pelos resultados de teor de amilose (Tabela 1). A despolimerização de amidos é motivada pelo tipo de espécies reativas do plasma (Rohit Thirumdas *et al.*, 2017). Como no nosso estudo, a utilização de ar sintético pode gerar íons reativos baseados em nitrogênio e oxigênio (majoritários na composição do ar sintético) e polissacarídeos é muito susceptível a despolimerização por espécies reativas de oxigênio (ROS) e nitrogênio (RNS) (Duan & Kasper, 2011), o aumento do teor de açúcares redutores para os tratamentos com plasma pode estar relacionado com a dextrinação das cadeias de amido devido à oxidação causada pelas espécies reativas (Lii, Liao, Stobinski, & Tomasik, 2002).

Tabela 1. Teor de amilose, relação amilose/amilopectina, blue value e $\lambda_{m\acute{a}x}$ dos amidos de arizã nativo e tratados com plasma a frio em diferentes voltagens.

<i>Ensaio</i>	<i>Teor de Amilose (g.100 g⁻¹)</i>	<i>Relação Amilose / Amilopectina</i>	<i>Blue value</i>	<i>$\lambda_{m\acute{a}x}$</i>
Controle	38.1 ± 1.7 ^a	1.54	0.774 ± 0.03 ^a	606
7 kV	32.3 ± 2.2 ^b	1.47	0.636 ± 0.04 ^b	604
10 kV	26.9 ± 1 ^c	1.32	0.506 ± 0.02 ^c	588
14 kV	23.3 ± 3 ^d	1.23	0.426 ± 0.06 ^d	584
20 kV	29.8 ± 0.4 ^b	1.29	0.557 ± 0.01 ^c	582

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n=3). ^{a-d} Letras diferentes em uma mesma coluna são diferentes significativamente (p-value<0.05).

4.2 Turbidez

As condições de operação do plasma a frio podem causar a redução ou aumento da claridade de pasta em amidos (Zhu, 2017). Para todos os tratamentos com modificação por plasma a frio foi observado aumento da absorbância a 650 nm (Tabela X). O tratamento com 14 kV apresentou maior valor de absorbância em relação aos outros tratamentos e foi significativo principalmente em relação ao amido nativo. Estes resultados corroboram com a redução do teor de amilose dos amidos tratados e a hipótese do mecanismo de reticulação de cadeias de amilose na estrutura da amilopectina com a aplicação de plasma a frio. A reticulação dos amidos durante o processamento por plasma a frio pode causar redução da transmitância da luz (ou seja, aumento da absorbância). (Craig *et al.*, 1989; Lim & Seib, 1993). Foi observado que a aplicação de plasma a frio aumentou a transmitância da luz em amidos de tapioca (Wongsagonsup *et al.*, 2014). Os resultados observados para o amido de ariá podem indicar uma aplicação alimentos no qual a turbidez dos amidos não reduza a aceitação do consumidor como molho, sopas e cremes.

Tabela 2. Propriedades físico-químicas dos amidos de ariá nativo e tratados com plasma a frio em diferentes voltagens.

Ensaio	Turbidez (Abs650nm)	Redução do teor de açúcar (g.100 g ⁻¹)	pH	Carbonil ¹	Carboxil ¹
Controle	0.67 ± 0.02d	2.8 ± 0.2c	6.47 ± 0.05a	-	-
7 kV	0.76 ± 0.01c	5.5 ± 0.3b	5.65 ± 0.05b	0.08 ± 0.015c	0.05 ± 0.006b
10 kV	1.00 ± 0.05ab	5.7 ± 0.3b	5.38 ± 0.03c	0.14 ± 0.02b	0.08 ± 0.01a
14 kV	1.06 ± 0.08a	6.5 ± 0.4a	5.31 ± 0.03d	0.2 ± 0.025a	0.09 ± 0.006a
20 kV	0.93 ± 0.02b	6.1 ± 0.3b	5.37 ± 0.02c	0.1 ± 0.01bc	0.1 ± 0.015a

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n=3). ^{a-d} Letras diferentes em uma mesma coluna são diferentes significativamente (p-value<0.05). ¹ Unidade: unidade de grupos carboxil ou carbonil por 100 grupos de glicose.

4.3 pH

Uma redução significativa (p-value<0.05) do pH é observada para os amidos tratados com plasma a frio, com menores valores de pH para 14 kV. Em outros trabalhos com aplicação de plasma a frio para modificação de amidos de milho e tapioca (Banura *et al.*, 2018) e nove diferentes tipos de amidos (Lii *et al.*, 2002) e farinha de arroz (Pal *et al.*, 2016) também foi observado redução do pH dos amidos em relação ao controle. A redução de pH de amidos tratados por plasma está associada com a formação de grupos ácidos como carbonil, carboxil e peróxidos, devido à oxidação dos amidos causada pelas espécies reativas do plasma (Banura *et al.*, 2018; Thirumdas *et al.*, 2017).

4.4 Grupos carbonil e carboxil

4.5 Colorimetria

A cor foi medida em termos de escala Hunter lab: L^* (luminosidade, variando de 0 (preto) a 100 (branco)), a^* (varia de vermelho (+ a^*) ao verde (- a^*), e a coordenada b^* (varia do amarelo (+ b^*) ao azul (- b^*)) (Rohit Thirumdas, Deshmukh, & Annapure, 2016). As amostras tratadas com plasma a frio apresentaram ligeiro aumento da luminosidade (L^*), mas somente a amostra 20 kV apresentou diferença significativa (p-value<0.05), conforme Tabela 3. Melhoria da luminosidade também foi observada em arroz parbolizado (Sarangapani *et al.*, 2016) e arroz basmati (Rohit Thirumdas *et al.*, 2016) tratados com plasma frio de baixa pressão. Uma redução de a^* e aumento de b^* também foi observado com aumento da tensão do plasma. Em consequência, maior variação de cor (ΔE^*) foi observada com aumento da tensão do plasma a frio.

Tabela 3. Propriedades de cor dos amidos de arizã nativo e tratados com plasma a frio em diferentes voltagens

<i>Ensaios</i>	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>ΔE*</i>
Controle	93.2 ± 0.29b	1.5 ± 0.04a	2.5 ± 0.07c	-
7 kV	93.5 ± 0.72b	1.5 ± 0.06a	2.5 ± 0.28c	0.30
10 kV	93.6 ± 0.51b	1.5 ± 0.1a	2.5 ± 0.09c	0.41
14 kV	93.9 ± 0.72b	0.7 ± 0.03b	3.4 ± 0.07a	1.32
20 kV	94.9 ± 0.42a	0.3 ± 0.04c	2.8 ± 0.33b	2.08

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n=3). ^{a-d}Letras diferentes em uma mesma coluna são diferentes significativamente (p-value<0.05).

4.6 Propriedades de hidratação de gel

Os Índices de Solubilidade em Água (ISA) e Índice Absorção de Água (IAA) de amidos são importantes, pois estão relacionados com o poder intumescimento e a solubilidade e fornecem evidências da magnitude da interação entre as cadeias de amido nos domínios amorfo e cristalino (Sjöö & Nilsson, 2018). De uma forma geral, tanto ISA e IAA dos amidos de arizã aumentaram com o aumento da tensão do plasma aplicada. Aumento da solubilidade de amidos tratados com plasma a frio também foi observado para amidos de arroz (Thirumdas *et al.*, 2017). Isto é atribuído devido à decomposição parcial ou despolicimerização do amido, o que pode levar à formação de fragmentos menores que têm maior poder de intumescimento ou lixiviação desses fragmentos, resultando em maior solubilidade (Thirumdas *et al.*, 2017). Nota-se que há

um aumento de ISA com aumento da tensão de plasma até 14 kV, reduzindo os valores de ISA para o tratamento 20 kV. A redução da solubilidade dos amidos de arizal tratados com plasma a 20 kV podem ser explicados por um possível processo de reticulação entre as moléculas do amido, como observado para amidos de milho (Nemtanu & Minea, 2006).

O plasma a frio também aumentou significativamente (p -valor <0.05) os valores de IAA em relação ao amido sem tratamento. Plasma de 10 e 14 kV apresentaram maiores valores de IAA, mas não foram significativos entre si. Plasma de 20 kV modificou pouco os valores de IAA em relação ao amido nativo. O plasma a frio de alta voltagem induz a reticulação de outras moléculas de glicose na estrutura do amido, principalmente na cadeia de amilose (como observado o aumento do teor de amilose para os amidos tratados por 20 kV). E o aumento do teor de amido pode causar a redução dos parâmetros de hidratação, como IAA. Foi observado para amido de milho e tapioca (Banura *et al.*, 2018) e arroz (Thirumdas *et al.*, 2017) que o a redução do teor de amilose causado pelo plasma podem favorecer o aumento de IAA, corroborando com a redução de amilose para os amidos de arizal (Tabela 4). Algumas hipóteses podem foram sugeridas para o aumento da IAA em amostras de amidos tratadas com plasma (Banura *et al.*, 2018): I) a despolimerização de cadeias ramificadas de amilose e amilopectina resulta na formação de açúcares simples como glicose e maltose e esses açúcares retêm mais água, o que pode ser responsável pelo aumento da capacidade de ligação da água; e/ou II) as espécies reativas do plasma a frio modificam a superfície, causando o aumento da área superficial e da hidrofiliçidade dos grânulos de amido. Fissuras na superfície causadas pela aplicação de plasma podem favorecer a entrada de água nas camadas mais internas dos grânulos de amido, aumentando sua capacidade de absorção de água (Chen, 2014).

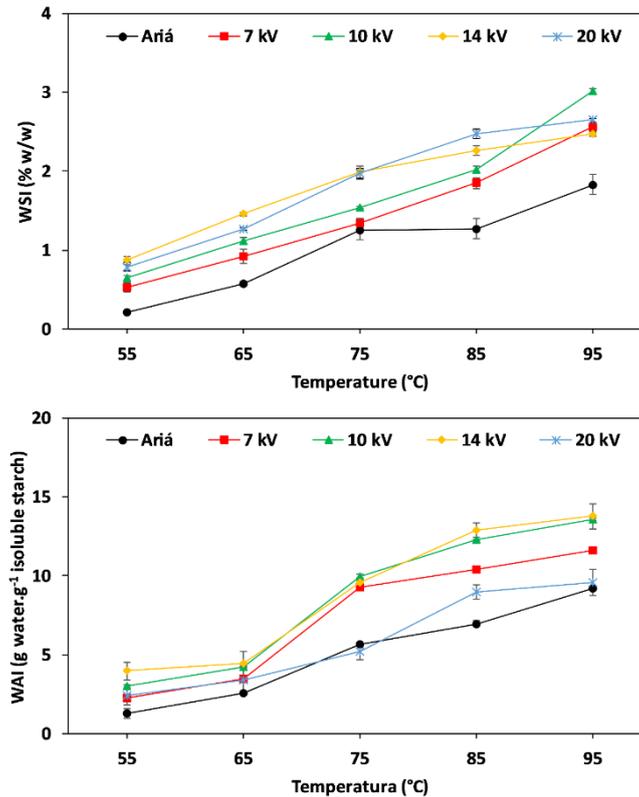


Figura 6 Propriedades de hidratação de gel de aria amido nativo e tratado com plasma frio.

4.7 Digestibilidade *in vitro*

A digestibilidade do amido depende da sensibilidade das moléculas de amido à amilase, e a sensibilidade está altamente associada à microestrutura, incluindo tamanho de partícula, estrutura da superfície dos grânulos, espessura da estrutura lamelar, padrão de cristal e cristalinidade, teor de amilose, distribuição do comprimento da cadeia e grau de ramificação (Zou, Xu, Tang, Wen, & Yang, 2019). A curva de hidrólise do amido e os valores de amido de digestão rápida, lenta e amido resistente são mostrados na Figura X. As curvas de hidrólise são ferramentas para melhor entendimento da digestão de amidos (Gao *et al.*, 2019). As curvas de hidrólise mostram que os tratamentos com plasma aumentaram a digestibilidade dos amidos de aria, com maior hidrólise para os amidos de 14 kV. A despolimerização do amido em cadeias menores pode facilitar a ação de enzimas digestivas, aumentando a taxa de hidrólise.

De uma forma geral, os valores de RS e RDS reduziram com aumento da voltagem do plasma aplicada. E também, nota-se que há um aumento dos valores de

SDS com aumento da voltagem de plasma. Isto pode estar relacionado com a despolimerização das cadeias de amido com a aplicação de plasma. Os amidos que são mais sensíveis à digestão (RDS) são transformados em açúcares redutores (como observado na Tabela 4) e os amidos resistentes sofrem quebra das suas cadeias, formando polímeros de menores unidades, mas que não são de fácil digestão (relacionando com o aumento de SDS). SDS possui regiões amorfas mais densas e cristais com estrutura helicoidal mais fraca (J. Zou *et al.*, 2020). Com a redução de RDS e, conseqüentemente, aumento de SDS+RS, sugere-se que a área de regiões amorfas densas no grânulo de amido aumentou, a quantidade e a estabilidade dos cristalitos foram elevadas e a estrutura helicoidal tornou-se mais regular (J. Zou *et al.*, 2020). Talvez, a melhoria da digestibilidade de amidos possa não ser interessante, visto que o plasma a frio reduz os níveis de RS, pois alimentos ricos em RS podem favorecer a saúde do consumidor. Mas, amidos tratados podem facilitar a ação de enzimas e a conversão de novos produtos de interesse industrial (Magallanes-Cruz, Flores-Silva, & Bello-Perez, 2017).

A digestibilidade de diferentes amidos tratados com plasma a frio foram avaliados por Gao *et al.* (2019) e os autores observaram redução de RS e aumento de SDS para as amostras tratadas em relação as nativas. Os mesmos autores relatam que as moléculas de amidos tratados com plasma são mais fáceis de ser digeridas já que a superfície e o interior dos grânulos podem ser atacados devido à ação dos íons energizados do plasma, aumentando sítios ativos para ação das enzimas.

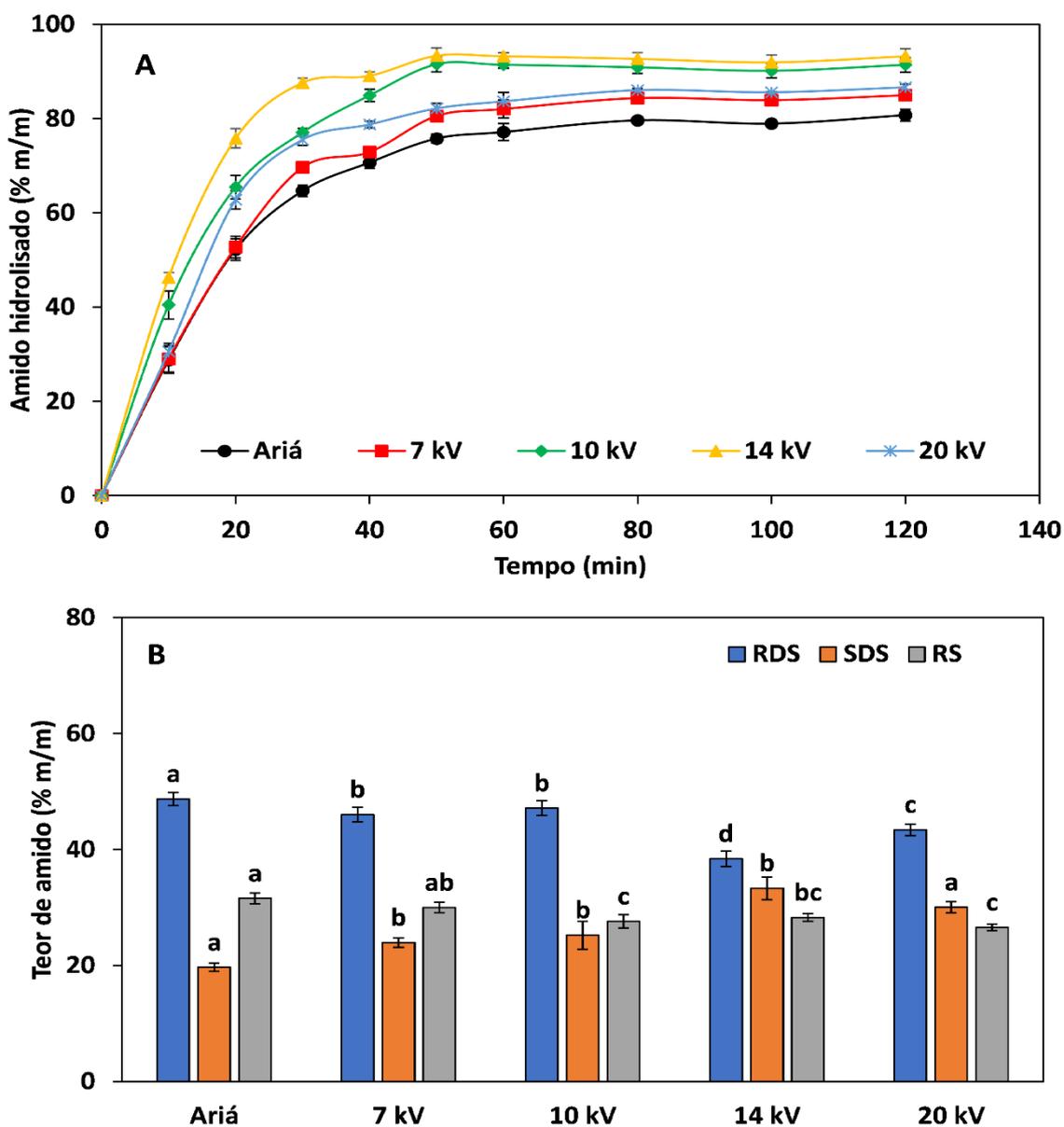


Figura 7 Curva de hidrólise do amido (A) e teor de amido de digestão rápida, digestão lenta e amido resistente (B) para os amidos de ariá nativo e tratados com plasma a frio.

4.8 Propriedade de Pasta

As curvas de RVA dos amidos de ariá nativo e tratados por plasma são apresentadas na Figura 8. De uma forma geral (como será vista ao longo desta seção), os teores de amilose e amilopectina são parâmetros muito importantes para as propriedades de pasta de amidos (Juhász & Salgó, 2008). Depende de fatores como índice de intumescimento, solubilidade, propriedades cristalinas, atrito entre grânulos inchados, conteúdo lipídico e competição entre amilose lixiviada e grânulos não

gelatinizados para moléculas de água. A Tabela 4 resume os parâmetros de propriedade de pasta extraídos das curvas de RVA. Pasting Apparent Viscosity (PAV) é a fase no qual há o inchaço máximo e a ruptura dos grânulos de amido (Castanha *et al.*, 2017). Nota-se que PAV variou com a aplicação do plasma, com aumento significativo ($p\text{-value}<0.05$) para o aumento da tensão de plasma. O aumento de PAV pode estar relacionado à reticulação de moléculas de glicose, formando novas cadeias de amilopectina. A reticulação diminuiu a desintegração dos grânulos de amido e pode resultar no aumento da viscosidade (Kurakake, Akiyama, Hagiwara, & Komaki, 2009). A amilopectina contribui para o inchaço dos grânulos de amido e colagem, enquanto a amilose e os lipídios inibem o inchaço (Jane *et al.*, 1999). Amidos com baixos valores de PAV podem apresentar alto teor de amilose e, conseqüentemente, baixa capacidade de ligar-se à água através de ligações de hidrogênio (Tangsrianugul, Wongsagonsup, & Suphantharika, 2019).

BD é um importante parâmetro das propriedades de pasta de amidos e está relacionado com a rigidez dos grânulos inchados (Juhász & Salgó, 2008). Nota-se que o aumento da voltagem acarreta aumento de TAV em relação ao amido nativo. Em contrapartida, os valores de BD reduzem com aumento da voltagem do plasma a frio. Maior viscosidade de quebra representa menor estabilidade térmica e de cisalhamento (Noora, Sudheesh, Sangeetha, & Sunooj, 2019). Apesar de outros trabalhos com a aplicação de plasma a frio para amido de banana (Wu, Sun, & Chau, 2018) e farinha de trigo (Chen, 2014) terem observado que o aumento da tensão do plasma reduziu os valores de TAV, a alta tensão de plasma aplicado ao amido do ariá causou a reticulação de cadeias de glicose (redução do teor de açúcares redutores de 14 para 20 kV, Tabela X) em novas cadeias de amilopectina (redução do teor de amilose, Tabela X).

A viscosidade de retrocesso da pasta (SB) de amidos está relacionada à sua propriedade de retrogradação e gelificação (Noora *et al.*, 2019). Também foi observado que o aumento da voltagem causou aumento em SB em relação ao amido nativo de ariá, mas os diferentes níveis de voltagem de plasma não apresentaram diferença significativa ($p\text{-value}>0.05$). O pico de alta viscosidade da pasta e a aparência de alto revés são atribuíveis à amilopectina nos grânulos inchados do amido (Juhász & Salgó, 2008; Kurakake *et al.*, 2009). Quando os grânulos de amidos apresentam maior resistência (maior PAV), isto limitará a quebra sob cisalhamento, acarretando em alto FAV e SB (Liu, Ramsden, & Corke, 1999).

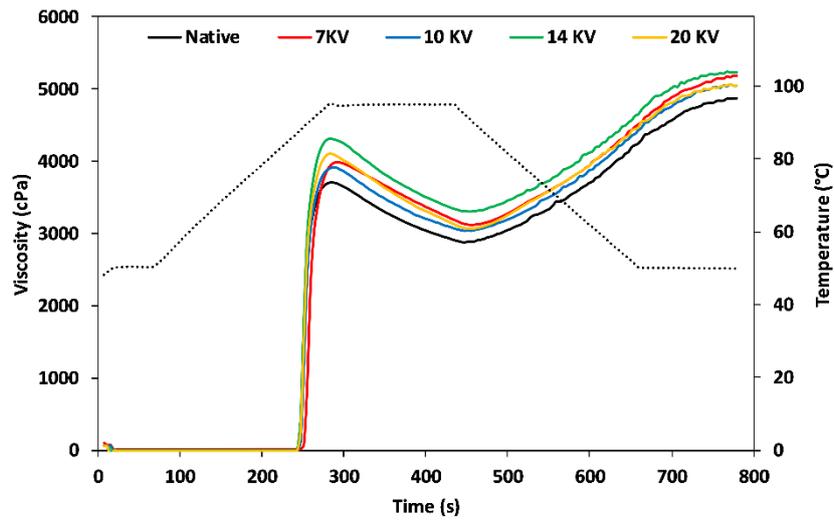


Figura 8 Curvas RVA de amidos de plasma frio nativo e tratado.

Tabela 4. Propriedades de pasta de amidos ariá não tratados ou plasma tratados

Ensaio	PAV	TAV	BD	RBD (%)	FAV	SB	PT
Nativo	3930 ± 55b	3051 ± 64a	879 ± 9bc	22.7 ± 0.5c	4744 ± 40c	1893 ± 76 ^b	87.7 ± 0.4a
7 kV	3768 ± 61c	2946 ± 66a	822 ± 6c	21.8 ± 0.5c	5167 ± 63a	1995 ± 25 ^a	87.8 ± 0.4a
10 kV	4031 ± 13 ^b	3178 ± 13a	853 ± 27bc	21.2 ± 1.2c	4941 ± 68b	1988 ± 20 ^a	88.1 ± 0.8a
14 kV	4266 ± 46 ^a	3385 ± 76a	1203 ± 30a	24.4 ± 0.5b	5216 ± 69 ^a	2020 ± 44 ^a	87.7 ± 0.4a
20 kV	4002 ± 15b	3286 ± 20a	981 ± 54ab	26.9 ± 1.1 ^a	4952 ± 52b	1988 ± 13 ^a	87.3 ± 0.0a

Todos os dados são expressos como média ± desvio padrão. ^{a-c} Significa que com as diferentes letras super-script em uma coluna diferem significativamente (p < 0,05). Todos os dados são expressos como média ± desvio padrão. ^{a-c} Os meios com as diferentes letras sobrescritas em uma coluna diferem significativamente (p < 0,05).

20 kV	3959.1	80.7	253.9	0.99	6927	0.183	0.99	143.6	9238.9	0.99
--------------	--------	------	-------	------	------	-------	------	-------	--------	------

4.9 Análises Térmicas

As propriedades térmicas (gelatinização e retrogradação) dos amidos de ariá nativo e tratados com plasma a frio são apresentados na Tabela 5. Para a gelatinização, nota-se que há uma redução significativa (p -valor <0.05) das temperaturas de gelatinização (T_i , T_p and T_f) com aumento da tensão de plasma até 14 kV. A diminuição da temperatura de gelatinização pode ser devida à despolimerização ou alteração na proporção de amilose e amilopectina dos grânulos de amido causados por espécies plasmáticas (Thirumdas *et al.*, 2017). Também foi observado que o plasma a frio reduziu a temperatura de gelatinização de amidos de batata (Zhang, Chen, Li, Li, & Zhang, 2015). Com aumento da tensão de plasma para 20 kV, T_i and T_f aumentam, contrário a tendência de redução dos valores com a aplicação de plasma. O plasma pode degradar ou reticular moléculas de amido e causar corrosões granulares como descrito anteriormente. Degradação e corrosão extensas levam a menor estabilidade térmica, enquanto a reticulação estabiliza os grânulos de amido e neutraliza o impacto da degradação (Zhu, 2017). Banura *et al.* (2018) observaram dois comportamentos para o uso do plasma na modificação de amidos: redução dos valores de entalpia para aumento da potência do plasma em amidos de milho e aumento dos valores de entalpia para aumento da potência do plasma em amidos de mandioca; confirmando que o plasma a frio pode despolimeriza ou reticular cadeias de amidos. Para amidos de milho normal e ceroso, foi observado que o aumento do tempo de plasma causou redução dos parâmetros térmicos de gelatinização (Zhou, Yan, Shi, & Liu, 2018).

A entalpia de gelatinização está relacionada com a energia necessária para iniciar o processo de gelatinização de amidos. O plasma a frio reduziu significativamente os valores de ΔH_{gel} em relação ao amido nativo e o aumento da tensão de plasma também reduziu os valores de entalpia. Um aumento da tensão de plasma pode facilitar a perda da estrutura helicoidal das cadeias do amido (Thirumdas *et al.*, 2017), facilitando a gelatinização dos amidos de ariá tratados com plasma a frio.

Retrogradação é o processo no qual amido volta ao seu estado mais organizado após a gelatinização (Klucinec & Thompson, 1999). ΔH de retrogradação fornece uma medida quantitativa da transformação de energia que ocorre durante a fusão da amilopectina recristalizada, bem como medições precisas das temperaturas de transição do evento endotérmico. É comum que as temperaturas de gelatinização após a

retrogradação sejam menores, pois durante o processo de retrogradação, as cadeias recristalizadas são mais fracas, exigindo menos energia para modificar a estrutura helicoidal dos amidos. (dos Santos, Leonel, Garcia, do Carmo, & Franco, 2016; Huang *et al.*, 2019; Singh, Singh, Kaur, Sodhi, & Gill, 2003). Os valores de temperatura de retrogradação também seguiram o mesmo comportamento da temperatura de gelatinização. Ou seja, o aumento da tensão de plasma até 14 kV reduziram as temperaturas de retrogradação, e um pequeno aumento foi observado para 20 kV.

O tratamento com plasma reduziu significativamente (p-valor<0.05) a retrogradação (R%) em relação ao amido nativo, com maior redução para 14 kV. O tratamento de 20 kV. A degradação molecular induzida por plasma e a reticulação de moléculas de amido tendem a ter efeitos opostos na retrogradação do amido. Assim, a extensão das mudanças na retrogradação do amido depende principalmente da soma desses dois tipos de reações (Zhu, 2017).

Tabela 5. Propriedades térmicas (gelatinização e retrogradação) dos amidos de ariá nativo e tratados por plasma a frio.

Gelatinização					
Ensaio	T_i	T_p	T_f	ΔH_{gel}	-
Ariá	85.6 ± 0.1e	87.4 ± 0.6c	92.1 ± 0.4d	22.7 ± 0.2d	-
7 kV	84.5 ± 0.3d	86.6 ± 0.3c	90.1 ± 0.4c	21.2 ± 0.2c	-
10 kV	82.2 ± 0.1c	83.6 ± 0.3b	88.1 ± 0.5b	20.7 ± 0b	-
14 kV	80.5 ± 0.1a	82.4 ± 0.1a	86.7 ± 0.4a	20.1 ± 0.1a	-
20 kV	80.8 ± 0.1b	82.3 ± 0.2a	87.2 ± 0.1b	20.4 ± 0b	-

Retrogradação					
Ensaio	T_i	T_p	T_f	ΔH_{ret}	%R
Ariá	57.6 ± 0.3c	68 ± 0.5d	74.6 ± 0.3d	12.4 ± 0.1e	54.7 ± 0.8c
7 kV	56.8 ± 0.2bc	66.3 ± 0.3c	72.8 ± 0.2c	11.3 ± 0d	53.1 ± 0.5b
10 kV	56 ± 0.5ab	66 ± 0.6bc	72 ± 0.7bc	10.9 ± 0.1c	52.6 ± 0.3b
14 kV	55.5 ± 0.6a	64 ± 0.5a	70.7 ± 0.6a	10.1 ± 0.1a	50.2 ± 0.4a
20 kV	55.6 ± 0.2a	65.1 ± 0.3b	71.6 ± 0.3ab	10.7 ± 0.1b	51.2 ± 0.2a

Todos os dados são expressos como média ± desvios padrão. ^{a-c} Significa que com as diferentes letras super-script em uma coluna diferem significativamente (p < 0,05). T_i é temperatura inicial; T_p é temperatura máxima; T_f é temperatura final; ΔH_{gel} e ΔH_{ret} são variações entalpia de gelatinização e retrogradação, respectivamente; e %R é retrogradação.

4.10 Força de Gel

Os resultados para dureza e elasticidade dos géis de amido nativo e tratados com plasma a frio são apresentados na Tabela 6. Para dureza dos géis, foi observado que os diferentes tratamentos apresentaram diferença significativa (p<0.05). Nota-se que há um

aumento significativo da dureza para o tratamento com 7 kV e uma redução com aumento progressivo para faixa de tensão de 10 – 20 kV. É conhecido que o aumento da tensão aplicada nos processamento por plasma a frio aumenta a despolimerização das cadeias de amido (Wu *et al.*, 2018), podendo reduzir a força dos géis. Mas apesar disto, tratamento com 7 kV aumentou a dureza dos géis de amido de ariá. Menores valores de tensão podem ter causado menos danos à estrutura polimérica dos amidos. Moléculas com comprimentos de cadeia intermediários têm maior probabilidade de se reassociarem e se ligarem do que moléculas maiores de amido (Castanha, Santos, *et al.*, 2019), explicando os valores de géis mais altos para o tratamento de 7 kV.

Tabela 6. Propriedades de textura (Força do gel e elasticidade) de amostras de amidos de ariá.

Ensaio	Força de gel (g)	Elasticidade (mm)
Nativo	251 ± 9b	3.47 ± a
7 kV	264 ± 18a	2.69 ± ab
10 kV	220 ± 0c	2.43 ± b
14 kV	249 ± 4b	2.32 ± b
20 kV	259 ± 3b	2.20 ± b

Todos os dados são expressos como média ± desvios padrão. ^{a-b} Significa que com as diferentes letras super-script em uma coluna diferem significativamente (p < 0,05).

4.11 Microscopia eletrônica de varredura - MEV

A Figura 9 mostra as imagens por microscopia eletrônica de varredura dos amidos de ariá controle e tratados com plasma a frio. Os grânulos de amidos de ariá apresentam estrutura oval com superfície lisa. Após a aplicação do plasma não foi observado mudanças na forma dos grânulos de amido. Nota-se que as modificações superficiais nos grânulos de amido aumentam com o aumento da tensão do plasma. Em estudos sobre a aplicação de plasma a frio em arroz parbolizado (Sarangapani *et al.*, 2016) e arroz basmati (Rohit Thirumdas *et al.*, 2016) os autores observaram que o aumento da potência e tempo de processamento aumentaram os dados as superfícies dos grãos de arroz. O tratamento com 20 kV apresentou agregação de pequenas partículas na superfície dos grânulos. A agregação de pequenas partículas de superfície pode ser explicada devido à força de Van der Waals e à força eletrostática causada pelo ataque dos íons do plasma que aumentam a carga superficial dos grânulos (Wu *et al.*, 2018). O plasma pode induzir a formação de poros, fissuras, corrosões e pequenas cavidades na superfície dos grânulos de amidos (Zhu, 2017). O aumento da tensão do plasma pode

aumentar a produção de espécies reativas que atacam a superfície causando modificações. Os íons plasmáticos penetraram no nível molecular e resultaram na despolimerização e reticulação dos grânulos de amido (Thirumdas *et al.*, 2017).

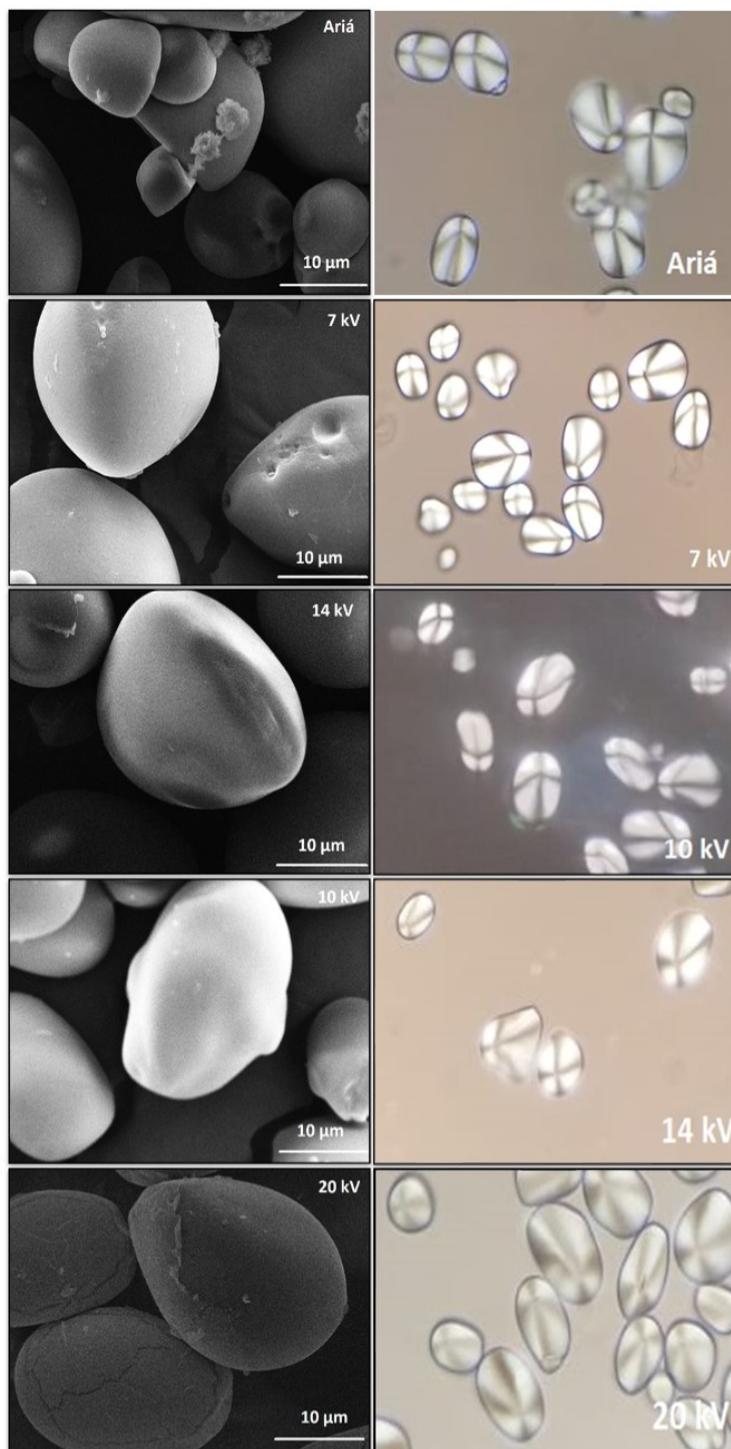


Figura 9 MEV e imagens de luz polarizada (40 X) do amido ariá não tratado e tratado com plasma frio.

CAPÍTULO 5

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo têm-se as conclusões do presente trabalho, assim como as recomendações para futuras pesquisas.

5.1 Conclusões

A presente pesquisa teve como principal objetivo a utilização do plasma a frio na modificação do amido nativo do ariá (*Goepertia allouia (Aubl.) Borchs. & S. Suárez*). Possibilitando a obtenção de novas propriedades e aplicações.

Os resultados das análises experimentais levaram às seguintes conclusões:

- a) Obtenção de novas propriedades funcionais;
- b) Diminuição significativamente ($p\text{-value}<0.05$) no teor de amilose;
- c) Aumentou significativamente ($p\text{-value}<0.05$) no teor de açúcares redutores;
- d) Melhoria na hidrofobicidade e alteração na morfologia da superfície do grão através da formação de poros, fissuras, corrosões e pequenas cavidades na superfície dos grânulos de amidos.
- e) Uma redução significativa ($p\text{-value}<0.05$) do pH para os amidos tratados com plasma a frio de 14 kV;
- f) Aumento na luminosidade (L^*), no amido tratado com 20 kV.
- g) Aumento significativo da dureza para o tratamento com 7 kV e uma redução com aumento progressivo para faixa de tensão de 10 – 20 kV.
- h) Redução significativa ($p\text{-valor}<0.05$) das temperaturas de gelatinização (T_i , T_p and T_f) com aumento da tensão de plasma até 14 kV.
- i) Aumento da tensão de plasma até 14 kV reduziram as temperaturas de retrogradação, e um pequeno aumento foi observado para 20 kV.
- j) PAV variou com a aplicação do plasma, com aumento significativo ($p\text{-value}<0.05$) para o aumento da tensão de plasma.
- k) Índices de Solubilidade em Água (ISA) e Índice Absorção de Água (IAA) amidos de ariá aumentaram com o aumento da tensão do plasma aplicada.

Pelo exposto, os resultados obtidos com a modificação do amido de ariá evidenciaram desempenho satisfatório na obtenção de novas propriedades estruturais, funcionais e reológicas do amido. Tal conclusão contribui para ratificar que a utilização do plasma a frio pode ser utilizada como uma tecnologia alternativa para modificação do amido.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Com o objetivo de melhor avaliar o comportamento reológico e o desempenho do amido modificado de ariá (*Goepertia allouia (Aubl.) Borchs. & S. Suárez*) sugerem-se para futuros trabalhos:

- a) Elaboração de diferentes formulações de produtos a base de amido modificado de ariá;
- b) Estudar o comportamento de produtos elaborados a partir do amido de ariá, frente a diferentes temperaturas.
- c) Estudar a incorporação do amido de ariá em outras misturas amiláceas.

REFERENCIAS

- Andrade, T.,C.; Souza, C.,R.; Investigação dos Processos de Gelatinização e Extrusão de Amido de Milho. *Polímeros* vol.10 n.1 São Carlos Jan./Mar. 2000 <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282000000100006>
- Ascheri, D. P. R; Morais, C. C.; Asquieri, E. R.; Carvalho, C. W. P.; Ascheri, J. L. R. Characterization of starch extracted from the roots of *Cissus simsiana* Roem. & Schult. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 2, p.787-800, 2014
- Avérous, L. Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: A review. *Journal of Macromolecular Science-Polymer*, [S. l.], v. C24, p. 231-274, 2004.
- Banura, S., Thirumdas, R., Kaur, A., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2018). Modification of starch using low pressure radio frequency air plasma. *LWT - Food Science and Technology*, 89(September 2017), 719–724. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.056>
- Barraza, O.A. Higuera, Toro-sanchez, C.L.D. Ruiz-Cruz, S. Marques-Rios. Effects of high-energy ultrasound on functional properties of proteins *Ultrason. Sonochem.*, 31 (2016), pp. 558-562
- Bastos, D. C., Santos, A. E. F., da Silva, M. L. V. J., & Simão, R. A. (2009). Hydrophobic corn starch thermoplastic films produced by plasma treatment. *Ultramicroscopy*, 109(8), 1089–1093. <https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2009.03.031>
- Bello-Pérez LA, Montealvo MGM & Acevedo EA (2006) Almidón: definición, estructura y propiedades. In: Lajolo FM & Menezes EW (eds.) *Carboidratos em alimentos regionais iberoamericanos*. São Paulo, Edusp. 646p
- Bhat, R., Karim, A. A. IMPACT OF radiation processing on starch. *Comprehensive Review in food science an food safety*, Chicago, v8, p44-58, 2009
- Bie, P., Pu, H., Zhang, B., Su, J., Chen, L., & Li, X. (2016). Structural characteristics and rheological properties of plasma-treated starch. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.019>
- Boonna, S., Rolland-Sabaté, A., Lourdin, D., & Tongta, S. (2019). Macromolecular characteristics and fine structure of amyloamylase-treated cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 205(March 2018), 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.042>
- Bueno, C. R., & Weigel, P. (1981). Brotação e desenvolvimento inicial de rizomas de Ariá (*Calathea allouia* (Aubl.) Lindl.). *Acta Amazonica*, 11(2), 407–410. <https://doi.org/10.1590/1809-43921981112408>
- Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V. Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 23, n. 2, p. 85-112, 1998
- Brasoveanu, M., & Nemtanu, M. R. (2014). Behaviour of starch exposed to microwave radiation treatment. *Starch/Staerke*, 66(1–2), 3–14. <https://doi.org/10.1002/star.201200191>
- Castanha, N., Lima, D. C., Matta Junior, M. D., Campanella, O. H., & Augusto, P. E. D.

- (2019). Combining ozone and ultrasound technologies to modify maize starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.161>
- Castanha, N., Matta Junior, M. D. da, & Augusto, P. E. D. (2017). Potato starch modification using the ozone technology. *Food Hydrocolloids*, 66, 343–356. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.12.001>
- Castanha, N., Santos, D. N. e., Cunha, R. L., & Augusto, P. E. D. (2019). Properties and possible applications of ozone-modified potato starch. *Food Research International*, 116(June 2018), 1192–1201. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.064>
- CEREDA, M. P. et al. Propriedades gerais do amido. São Paulo, Fundação Cargill, 221 p. (Série: Culturas de tuberosas amiláceas Latino-americanas, v. 1) 2001.
- Chan, C.-M.; Ko, T. M.; Hiraoka, H. Polymer surface modification by plasmas and photons. *Surface Science Reports*, v. 24, p. 1-54, 1996.
- Chen, H. H. (2014). Investigation of Properties of Long-grain Brown Rice Treated by Low-pressure Plasma. *Food and Bioprocess Technology*, 7(9), 2484–2491. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1217-2>
- Chung, S. T. L., Lee, S.J., Hong, E.J. Impact of single and dual modifications on physicochemical properties of japonica and indica rice starches *Carbohydrate Polymers*, 122 (2015), pp. 77-83
- Colussi, R., Kaur, L., Zavareze, E. da R., Dias, A. R. G., Stewart, R. B., & Singh, J. (2018). High pressure processing and retrogradation of potato starch: Influence on functional properties and gastro-small intestinal digestion in vitro. *Food Hydrocolloids*, 75, 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.004>
- Craig, S. A. S., Maningat, C. C., Seib, P. A., & Hosney, R. C. (1989). Starch Paste Clarity. *Cereal Chemistry*, 66(3), 173–188.
- Correa, Q., & Bernal, H. J. (Eds.). (1990). *Espécies vegetales promisorias de los países del convenio Andrés Bello* (Third Edit). Bogota: D.E Secretaria Ejecutiva del Convenio Andres Bello
- De La Hera, E., Gomez, M., & Rosell, C. M. (2013). Particle size distribution of rice flour affecting the starch enzymatic hydrolysis and hydration properties. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.06.002>
- Deeyai, P., Suphantharika, M., Wongsagonsup, R., & Dangtip, S. (2013). Characterization of modified tapioca starch in atmospheric argon plasma under diverse humidity by FTIR spectroscopy. *Chinese Physics Letters*, 30(1), 3–6. <https://doi.org/10.1088/0256-307X/30/1/018103>
- Desmet, C. Leys. Morent, R. Geyter, T. Leys. Plasma surface modification of biodegradable polymers: A review. *Plasma Processes and Polymers*, 8 (3) (2011), pp. 171-190
- Dos Santos, T. P. R., Leonel, M., Garcia, É. L., do Carmo, E. L., & Franco, C. M. L. (2016). Crystallinity, thermal and pasting properties of starches from different potato cultivars grown in Brazil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.091>

- Du, J., Yang, Z., Xu, X., Wang, X., & Du, X. (2019). Effects of tea polyphenols on the structural and physicochemical properties of high-hydrostatic-pressure-gelatinized rice starch. *Food Hydrocolloids*, *91*(130), 256–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.035>
- Duan, J., & Kasper, D. L. (2011). Oxidative depolymerization of polysaccharides by reactive oxygen/nitrogen species. *Glycobiology*, *21*(4), 401–409. <https://doi.org/10.1093/glycob/cwq171>
- Eliasson, A.C. Carbohydrates in food. New York: Marcel Dekker, 1996. 664p.
- Eliasson, A.C. Starch in food – Structure, function and applications. New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605p.
- Everaert, E. P.; Van Der Mei, H. C.; Busscher, H. J. Hydrophobic recovery of repeatedly plasma-treated silicone rubber. A comparison of the hydrophobic recovery in air, water, or liquid nitrogen. *Journal of Adhesion Science and Technology*, v. 10, p. 351–359, 1996
- Falsafi, S. R., Maghsoudlou, Y., Rostamabadi, H., Rostamabadi, M. M., Hamed, H., & Hosseini, S. M. H. (2019). Preparation of physically modified oat starch with different sonication treatments. *Food Hydrocolloids*, *89*(October 2018), 311–320. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.046>
- Felisberto, M. H. F., Beraldo, A. L., Costa, M. S., Boas, F. V., Franco, C. M. L., & Clerici, M. T. P. S. (2019). Physicochemical and structural properties of starch from young bamboo culm of *Bambusa tuldoidea*. *Food Hydrocolloids*, *87*(July 2018), 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.032>
- Feniman, C.M. Caracterização de Raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) do Cultivar IAC 576- 70 quanto à cocção, Composição Química e Propriedades do Amido em Duas Épocas de Colheita. Piracicaba, 2004. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de São Paulo.
- Fuentes, C., Perez-Rea, D., Bergenståhl, B., Carballo, S., Sjö, M., & Nilsson, L. (2019). Physicochemical and structural properties of starch from five Andean crops grown in Bolivia. *International Journal of Biological Macromolecules*, *125*, 829–838. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.120>
- Friedrich, J. F. The Plasma Chemistry of Polymer Surfaces. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2012.
- Fridman, A. Plasma Chemistry. [S.l.]: Cambridge University Press, 2008.
- Gao, S., Liu, H., Sun, L., Liu, N., Wang, J., Huang, Y., ... Wang, M. (2019). The effects of dielectric barrier discharge plasma on physicochemical and digestion properties of starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, *138*, 819–830. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.147>
- Germani R. Controle de qualidade tecnológica do grão e da farinha de trigo. Curso de Pós-Graduação em Controle e Garantia de Qualidade de Alimentos UFRJ – Embrapa/CTAA. Módulo III: controle de qualidade químico e físico-químico. Rio de Janeiro; 1999. p.27-31

- Gonçalves, M. F. V.; Sarmiento, S. B.; Dias, C. T. S.; Marquezini N.; Tratamento térmico do amido de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) sob baixa umidade em micro-ondas. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* vol.29 no.2 Campinas Apr./June 2009 <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612009000200005>
- Gozé, P., Rhazi, L., Pauss, A., & Aussenac, T. (2016). Starch characterization after ozone treatment of wheat grains. *Journal of Cereal Science*, 70, 207–213. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.06.007>
- Gutiérrez, T. J. (2018). Characterization and in vitro digestibility of non-conventional starches from guinea arrowroot and La Armuña lentils as potential food sources for special diet regimens. *Starch/Staerke*, 70(1–2), 1–13. <https://doi.org/10.1002/star.201700124>
- Huang, J., Yuan, M., Kong, X., Wu, D., Zheng, Z., & Shu, X. (2019). A novel starch: Characterizations of starches separated from tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Ktze) seed. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 1085–1091. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.044>
- Hulleman, S. H. D., Kalisvaart, M. G., Janssen, F. H. P., Feil, H., Vliegthart, J. F. G., “Origins of B-type Crystallinity in glycerol-plasticized, compression-moulded potato starches”, *Carbohydrate Polymers*, v. 39, pp. 351-360,1999.
- Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPherson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., & Kasemsuwan, T. (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*, 76(5), 629–637. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.5.629>
- Jay, J. M. *Microbiologia de alimentos*. 6 ed. Porto Alegre: Artmed. 711 p., 2005
- Juhász, R., & Salgó, A. (2008). Pasting behavior of amylose, amylopectin and their mixtures as determined by RVA curves and first derivatives. *Starch/Staerke*, 60(2), 70–78. <https://doi.org/10.1002/star.200700634>
- Kang, N., Zuo, Y. J., Hilliou, L., Ashokkumar, M., & Hemar, Y. (2016). Viscosity and hydrodynamic radius relationship of high-power ultrasound depolymerised starch pastes with different amylose content. *Food Hydrocolloids*, 52, 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.017>
- Kardos, N. Luche, J.L. **Sonochemistry of carbohydrate compounds**. *Carbohydr. Res.*, 332 (2001), pp. 115-131
- Klucinec, J. D., & Thompson, D. B. (1999). Amylose and amylopectin interact in retrogradation of dispersed high- amylose starches. *Cereal Chemistry*, 76(2), 282–291. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.2.282>
- Kinupp, V. F., & Lorenzi, H. (2014). Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. In Instituto Plantarum (Ed.), *São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora*. (1st ed.).
- Kim, S.J.; Ustunol, Z. "Solubility and moisture sorption isotherms of whey protein based edible films as influenced by lipid and plasticizer type." *J. Agr. Food Chem.* V. 49. p.4388-4391. 2001.

- Kong, X., Kasapis, S., Bao, J., & Corke, H. (2009). Effect of gamma irradiation on the thermal and rheological properties of grain amaranth starch. *Radiation Physics and Chemistry*, 78, 954e960
- Kurakake, M., Akiyama, Y., Hagiwara, H., & Komaki, T. (2009). Effects of cross-linking and low molecular amylose on pasting characteristics of waxy corn starch. *Food Chemistry*, 116(1), 66–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.006>
- Lajolo, F.M.; Menezes, E.W. *Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p
- Lamont, S. R., Eshbaugh, W. H., & Greenberg, A. M. (1999). Species composition, diversity, and use of homegardens among three Amazonian villages. *Economic Botany*, 53(3), 312–326. <https://doi.org/10.1007/BF02866644>
- Lewicka, K., Siemion, P., & Kurcok, P. (2015). Chemical modifications of starch: Microwave effect. *International Journal of Polymer Science*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/867697>
- Lii, C. Y., Liao, C. D., Stobinski, L., & Tomasik, P. (2002). Behaviour of granular starches in low-pressure glow plasma. *Carbohydrate Polymers*, 49(4), 499–507. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00365-4](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00365-4)
- Lim, S., & Seib, P. (1993). Preparation and pasting properties of wheat and corn starch phosphates. *Cereal Chemistry*, 70(2), 137–144.
- Liu, H., Ramsden, L., & Corke, H. (1999). Physical Properties of Cross-linked and Acetylated Normal and Waxy Rice Starch. *Starch - Stärke*, 51(7), 249–252. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-379x\(199907\)51:7<249::aid-star249>3.3.co;2-f](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-379x(199907)51:7<249::aid-star249>3.3.co;2-f)
- Liston, E.M.; Martinu, L.; Wertheimer, M.R., J. *Adhes. Sci. Technol.* 1993, 7, 1091–1127
- Magallanes-Cruz, P. A., Flores-Silva, P. C., & Bello-Perez, L. A. (2017). Starch Structure Influences Its Digestibility: A Review. *Journal of Food Science*, 82(9), 2016–2023. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13809>
- Mali, S.; Grossmann, M. V. E.; Yamashita, F. “Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização”, *Seminário: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 1, pp 137-156, jan./mar. 2010.
- Matta Junior, M. D., Castanha, N., dos Anjos, C. B. P., Augusto, P. E. D., & Sarmiento, S. B. S. (2019). Ozone technology as an alternative to fermentative processes to improve the oven-expansion properties of cassava starch. *Food Research International*, 123(April), 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.050>
- Martin, F.W.; Cabanillas, E. Leren (*Goepertia allouia*), a little known tuberous root crop of the caribbean. *Economic Botany*, v.30, p. 249-256, jul./sep. 1976.
- Marx, F.; Maia, J.G.S. Vitamins in fruits and vegetables of the Amazon. 1. Methods for the determination of B-carotene, tocopherol and ascorbic acid with high performance liquid chromatography (HPLC). *Acta Amazônica*, v.13, n.5-6, p.823-830, 1983
- Misra, N. N., Pankaj, S. K., Segat, A., & Ishikawa, K. (2016). Cold plasma interactions with enzymes in foods and model systems. *Trends in Food Science and Technology*, 55, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.001>

- M. Miyazaki, P. Van Hung, T. Maeda, N. Morita Recent advances in application of modified starches for breadmaking *Trends In Food Science & Technology*, 17 (2006), pp. 591-599
- Misra, N.N. Tiwari, B.K. Raghavarao, K.S.M.S. Cullen, P. J. Cullen. Nonthermal plasma inactivation of food-borne pathogens. *Food Engineering Reviews*, 3 (2011), pp. 159-170
- Misra, N.N. Tiwari, B.K. Raghavarao, K.S.M.S. Cullen, P. J. Cullen. Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of wheat flour *Food Hydrocolloids*, 44 (2015), pp. 115-121
- Missouri Botanical Garden – Mbg. Mobot. W3 Tropicos. Specimen database. *Goepertia allouia*. St. Louis, 2005. Disponível em: <http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html> Acesso: 20/4/2004.
- Moreau M, Orange N, Feuilloley Mg. Non-thermal plasma technologies: new tools for bio-decontamination. *Biotechnology Advances*, v. 26, n. 6, p. 610-7
- Morent, R. De Geyter, N. Desmet, T. Dubruel, P. Leys, C. Plasma surface modification of biodegradable polymers: A review *Plasma Processes and Polymers*, 8 (3) (2011), pp. 171-190, [10.1002/ppap.201000153](https://doi.org/10.1002/ppap.201000153)
- Mucillo, Roberta C. S. T. Caracterização e avaliação de amido nativo e modificado de pinhão mediante provas funcionais e térmicas. 2009. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- Nemtanu, M. R., & Minea, R. (2006). Functional properties of corn starch treated with corona electrical discharges. *Macromolecular Symposia*, 245–246, 525–528. <https://doi.org/10.1002/masy.200651375>
- Nehra, V., Kumar, A., Dwivedi, H.K. Atmospheric non-thermal plasma sources *International Journal of Engineering*, 2 (1) (2008), pp. 53-68
- Noora, B., Sudheesh, C., Sangeetha, N., & Sunooj, K. V. (2019). Effect of isolation methods on the crystalline, pasting, thermal properties and antioxidant activity of starch from queen sago (*Cycas circinalis*) seed. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(3), 2147–2156. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00135-2>
- Oliveira, A. C. G. et al. Conservação pós-colheita de goiaba branca ‘kumagai’ por irradiação gama: aspectos físicos, químicos e sensoriais. *Boletim CEPPA*, Curitiba, v.24, n.2. 2006.
- Okyere, A. Y., Bertoft, E., & Annor, G. A. (2019). Modification of cereal and tuber waxy starches with radio frequency cold plasma and its effects on waxy starch properties. *Carbohydrate Polymers*, 223(April), 115075. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115075>
- Orjuela-Baquero, N. M., Fernández-Trujillo, J. P., & Hernández, M. S. (2016). Characterization of native starches from Amazonian roots and tubers. *Acta Horticulturae*, 1118, 201–206. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1118.30>
- Pal, P., Kaur, P., Singh, N., Kaur, A. P., Misra, N. N., Tiwari, B. K., ... Viridi, A. S. (2016). Effect of nonthermal plasma on physico-chemical, amino acid composition, pasting and protein characteristics of short and long grain rice flour. *Food Research*

- International*, 81, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.12.019>
- Palabiyik, İ., Toker, O. S., Karaman, S., & Yildiz, Ö. (2017). A modeling approach in the interpretation of starch pasting properties. *Journal of Cereal Science*, 74, 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.008>
- Pankaj, S. K., Wan, Z., Colonna, W., & Keener, K. M. (2017). Effect of high voltage atmospheric cold plasma on white grape juice quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 4016–4021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8268>
- Parker, R.; Ring, S. G. Aspects of the physical chemistry of starch. *Journal of Cereal Science*, v. 34, n. 1, p. 1-17, 2001.
- Park, S.H.; Na, J. Kim, S. Dal Kang, K.H. Park. Properties and applications of starch modifying enzymes for use in the baking industry. *Food Sci. Biotechnol.*, 27 (2) (2018), pp. 299-312
- Revilla, J. (2002a). *Apontamentos para a cosmética amazônica* (FirstEdit; J. Revilla, Ed.). Manaus: INPA.
- Revilla, J. (2001b). *Oportunidades econômicas e sustentáveis* (First Edit; J. Revilla, Ed.). Manaus: INPA
- Sahnoun, M. Ismail, R. N. Kammoun Enzymatically hydrolysed, acetylated and dually modified corn starch: physico-chemical, rheological and nutritional properties and effects on cake quality *J. Food Sci. Technol.*, 53 (1) (2016), pp. 481-490
- Sarangapani, C., Thirumdas, R., Devi, Y., Trimukhe, A., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2016). Effect of low-pressure plasma on physico-chemical and functional properties of parboiled rice flour. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 482–489. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.003>
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S., & Gill, B. S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2), 219–231. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)
- Silva, R., M.; Ferreira, F., G., Shirai, M.,A., Haas, A., Scherer, M.,L., Franco, C.,M.,L., Demiate, M.,I., Características físico-químicas de amidos modificados com permanganato de potássio/ácido láctico e hipoclorito de sódio/ácido láctico. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* vol.28 no.1 Campinas Jan./Mar. 2008
<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000100011>
- Sjöö, M., & Nilsson, L. (2018). *Starch in Food: Structure, Function and Applications* (Second edi; M. Sjöö & L. Nilsson, eds.). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sorndech, W., Meier, S., Jansson, A. M., Sagnelli, D., Hindsgaul, O., Tongta, S., & Blennow, A. (2015). Synergistic amyloamylase and branching enzyme catalysis to suppress cassava starch digestibility. *Carbohydrate Polymers*, 132, 409–418. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.084>
- Sudheesh, C., Sunooj, K. V., & George, J. (2019). Kithul palm (*Caryota urens*) as a new source of starch: Effect of single, dual chemical modifications and annealing on the physicochemical properties and in vitro digestibility. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 1084–1092. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.179>
- Sudheesh, C., Sunooj, K. V., Sinha, S. K., George, J., Kumar, S., Murugesan, P., ...

- Sajeev Kumar, V. A. (2019). Impact of energetic neutral nitrogen atoms created by glow discharge air plasma on the physico-chemical and rheological properties of kithul starch. *Food Chemistry*, 294(January), 194–202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.067>
- Sun, Y., Wang, M., Ma, S., & Wang, H. (2020). Physicochemical characterization of rice, potato, and pea starches, each with different crystalline pattern, when incorporated with Konjac glucomannan. *Food Hydrocolloids*, 101(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105499>
- Tangsrianugul, N., Wongsagonsup, R., & Suphantharika, M. (2019). Physicochemical and rheological properties of flour and starch from Thai pigmented rice cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 666–675. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.196>
- Teixeira, L. S., Martim, S. R., Silva, L. S. C., Kinupp, V. F., Teixeira, M. F. S., & Porto, A. L. F. (2016). Efficiency of Amazonian tubers flours in modulating gut microbiota of male rats. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 38, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.015>
- Tester, R.F. et al. Starch – composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, v.39, p.151-165, 2004. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6WHKBNMH9W4&_user=687358&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=_acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687358&md5=af13c384207409ca760f595fa217b8bd. Doi: 10.1016/j.jcs.2003.12.001.
- Thiré, R. M. S. M., Simão, R. A., Araújo, P. J. G., Achete, C. A., & Andrade, C. T. (2004). Reduction of Hydrophilicity of Biodegradable Starch-Based Films by Plasma Polymerization. *Polímeros*, 14(1), 57–62. <https://doi.org/10.1590/s0104-14282004000100015>
- Thirumdas, R., Trimukhe, A., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2017). Functional and rheological properties of cold plasma treated rice starch. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1723–1731. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.050>
- Thirumdas, Rohit, Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2016). Effect of low temperature plasma on the functional properties of basmati rice flour. *Journal of Food Science and Technology*, 53(6), 2742–2751. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2246-4>
- Thirumdas, Rohit, Kadam, D., & Annapure, U. S. (2017). Cold Plasma: an Alternative Technology for the Starch Modification. *Food Biophysics*, 12(1), 129–139. <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9468-5>
- Van Soest, J. J. G.; Esser, P. Influence of amylose-amylopectin ration on properties of extruded starch plastic sheets. *Pure and Applied Chemistry*, Oxford, v. 34, n. 9, p. 1665- 1689, 1997.
- Vandeputte, G.E. et al. Rice starches. II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. *Journal of Cereal Science*, v.38, p.53-59, 2003b. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6WHK-48BKSYR2&_user=687358&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687358&md5=317283bf5a07688cb28661815a73b262. Doi: 10.1016/ S0733-5210(02)00141-8.

- Wang, L.; Xie, B.; Shi, J.; Xue, S.; Deng, Q.; Wei, Y.; Tian, B. Physicochemical properties and structure of starches from chinese rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, v. 24, p. 208-216. 2010.
- Wongsagonsup, R., Deeyai, P., Chaiwat, W., Horrungsawat, S., Leejariensuk, K., Suphantharika, M., ... Dangtip, S. (2014). Modification of tapioca starch by non-chemical route using jet atmospheric argon plasma. *Carbohydrate Polymers*, 102(1), 790–798. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.089>
- Wu, T. Y., Sun, N. N., & Chau, C. F. (2018). Application of corona electrical discharge plasma on modifying the physicochemical properties of banana starch indigenous to Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(1), 244–251. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.03.005>
- Zabot, G. L., Silva, E. K., Emerick, L. B., Felisberto, M. H. F., Clerici, M. T. P. S., & Meireles, M. A. A. (2019). Physicochemical, morphological, thermal and pasting properties of a novel native starch obtained from annatto seeds. *Food Hydrocolloids*, 89(August 2018), 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.041>
- Zambrano, Francny; Camargo, Celina R. O. Otimização das Condições de Hidrólise Ácida de amido de Mandioca para Obtenção de Substituto de Gordura. Campinas: UNICAMP - FEAD/DTA. Revista Braz. J. Food Technol, 4:147-154, 2001
- Zhang, B., Chen, L., Li, X., Li, L., & Zhang, H. (2015). Understanding the multi-scale structure and functional properties of starch modulated by glow-plasma: A structure-functionality relationship. *Food Hydrocolloids*, 50, 228–236. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.002>
- Zhou, Y., Yan, Y., Shi, M., & Liu, Y. (2018). Effect of an atmospheric pressure plasma jet on the structure and physicochemical properties of waxy and normal maize starch. *Polymers*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/polym11010008>
- Zhu, F. (2017). Plasma modification of starch. *Food Chemistry*, 232, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.024>
- Zhu, L. J.; Liu, Q. Q.; Wilson, J. D.; Gu, M. M.; Shi, Y. C. Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. *Carbohydrate Polymers*, v. 86, p.1751–1759, 2011.
- Zhu, F., & Cui, R. (2019). Comparison of molecular structure of oca (*Oxalis tuberosa*), potato, and maize starches. *Food Chemistry*, 296(May), 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.192>
- Zhu, F., & Hao, C. (2019). Physicochemical properties of Maori potato starch affected by molecular structure. *Food Hydrocolloids*, 90(November 2018), 248–253. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.021>
- Zou, J. J., Liu, C. J., & Eliasson, B. (2004). Modification of starch by glow discharge plasma. *Carbohydrate Polymers*, 55(1), 23–26. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.06.001>
- Zou, J., Xu, M., Tang, W., Wen, L., & Yang, B. (2020). Modification of structural, physicochemical and digestive properties of normal maize starch by thermal treatment. *Food Chemistry*, 309(October 2019), 125733. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125733>

