AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**MÉTODOS FÍSICO QUÍMICOS NO ESTUDO DE EFEITO DA RADIAÇÃO EM AMIDO DE
ARARUTA**

ALINE GONÇALVES BARROSO

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Aplicações**

**Orientadora:
Profa. Dra. Nélida Lúcia del Mastro**

**São Paulo
2018**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**MÉTODOS FÍSICO QUÍMICOS NO ESTUDO DE EFEITO DA RADIAÇÃO EM AMIDO DE
ARARUTA**

ALINE GONÇALVES BARROSO

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear – Aplicações**

Orientadora:
Profa. Dra. Nélida Lúcia del Mastro

Versão Corrigida
Versão Original disponível no IPEN

São Paulo
2018

Universidade de São Paulo

Janus

ATA DE DEFESA

Aluno: 85131 - 7544305 - 2 / Página 1 de 1

Ata de defesa pública de Dissertação do(a) Senhor(a) Aline Gonçalves Barroso no Programa: Tecnologia Nuclear, do(a) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Universidade de São Paulo.

Aos 13 dias do mês de novembro de 2018, no(a) Auditório Dr. Alcidio Abrão (1 realizou-se a Defesa da Dissertação do(a) Senhor(a) Aline Gonçalves Barroso, apresentada para a obtenção do título de Mestra intitulada:

"Métodos físico químicos no estudo de efeito da radiação em amido de araruta"

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra ao candidato para exposição e a seguir aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Função	Sigla da CPG	Resultado
Nélida Lúcia Del Mastro	Presidente	IPEN(IPEN)	Aprovado
Marta Helena Fillet Spoto	Titular	ESALQ - USP	Aprovado
Adriana Benetti Marques Valio	Suplente	CRAAM - Externo	Aprovado

Resultado Final: Aprovado

Parecer da Comissão Julgadora *

Eu, Paulo Albino Balan Junior , lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as) examinadores. São Paulo, aos 13 dias do mês de novembro de 2018.

Marta Helena Fillet Spoto

Adriana Benetti Marques Valio

Nélida Lúcia Del Mastro
Presidente da Comissão Julgadora

* Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

A defesa foi homologada pela Comissão de Pós-Graduação em ____/____/____ e, portanto, o(a) aluno(a) faz jus ao título de Mestra em Ciências obtido no Programa Tecnologia Nuclear - Área de concentração: Tecnologia Nuclear - Aplicações.

Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Ao meu marido, meu incentivador e companheiro.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Eterno, por tornar este trabalho possível.

À Prof^a Dra. Nélida Lúcia del Mastro, pelos ensinamentos, orientação, credibilidade, apoio e incentivo.

À Dra. Mônica Beatriz Mathor e ao Dr. Guilherme Soares Zahn, pelas sugestões na banca do Seminário de Área.

Ao Dr. Daniel Perez e ao Me. Igor Colado, pelo auxílio e colaboração nas análises de microscopia óptica e utilização do microscópio eletrônico de varredura.

À Dra. Luci Diva Brocardo Machado, pelo treinamento e auxílio na utilização do laboratório de análises térmicas.

Ao doutorando Rafael H. L. Garcia, pela disponibilidade e contribuição nas análises de difração de raios-X.

À especialista Nayara Lima, do Senai – Mário Amato, pela disponibilidade na utilização do equipamento de infravermelho FTIR.

À Dra. Elizabeth Harumi, do Instituto de Tecnologia de Alimentos, pela contribuição nas análises de viscosidade, cor e textura.

Aos Engs. Elizabeth S. R. Somessari e Carlos Gaia da Silveira, pela realização da irradiação das amostras.

Aos colegas do IPEN e em particular aos do Centro de Tecnologia das Radiações (CTR).

Ao IPEN/USP, pela estrutura e oportunidade para realização deste trabalho.

Ao meu marido, filhos e pai, pelo incentivo de todas as formas.

OBRIGADA!

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”.

Simone de Beauvoir

MÉTODOS FÍSICO QUÍMICOS NO ESTUDO DE EFEITO DA RADIAÇÃO EM AMIDO DE ARARUTA

Aline Gonçalves Barroso

RESUMO

O amido é um polissacarídeo distribuído em diversas espécies vegetais como reserva de energia, fornecendo de 80% a 90% das calorias consumidas pelo homem. Dentre as espécies de fontes de amido, está a araruta, uma planta herbácea comum nas florestas tropicais brasileiras que tem sua importância relacionada ao rendimento e as características do seu amido. Como ingrediente principal, o amido confere estrutura, textura, consistência e atratividade a uma série de alimentos. No entanto, algumas propriedades do amido nativo não são de interesse para a indústria alimentícia. A irradiação gama é um tratamento físico em que o amido é exposto a uma dose de radiação controlada, modificando as macromoléculas e alterando suas propriedades. O presente trabalho teve como objetivo estudar o amido de araruta tratado com radiação ionizante em fonte de cobalto-60 Gammacell 220, com doses de 5 kGy, 10 kGy e 15 kGy, a uma taxa de 1 kGy⁻¹, e compará-las com a amostra controle. Para tanto, as amostras foram submetidas à difração de raios-X, espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier, ensaio de textura, análise instrumental de cor, análise térmica (TG e DSC) e análise de imagem. Após os ensaios, constatou-se que a radiação não alterou o espectro de FTIR e a termogravimetria. Apesar de ter afetado o tamanho do grânulo, a radiação não o danificou. A difração de raios-X e a análise térmica evidenciaram uma degradação da parte amorfa do grânulo (cristalinidade e entalpia aumentaram) após a irradiação. No estudo das propriedades de pasta, por ensaio viscosográfico no Rapid Visco Analyser, houve uma queda da viscosidade com o aumento da dose de radiação e os hidrogéis se mostraram mais duros e mais claros.

PHYSICALCHEMICAL METHODS IN THE RADIATION EFFECT STUDY IN ARARUTA STARCH

Aline Gonçalves Barroso

ABSTRACT

Starch is a polysaccharide distributed in several plant species as a reserve of energy, providing 80-90% of the calories consumed by man. Among the species of starch sources is arrowroot, a tropical herb plant, probably native to South American rainforest habitats, which has its importance related to the yield and characteristics of its starch. As a major ingredient, starch confers structure, texture, consistency and attractiveness to a number of food products. However, some properties of native are of no interest to the food industry. Gamma irradiation is a physical treatment in which the starch is exposed to a dose of controlled radiation, modifying its macromolecules and altering its properties. The objective of the present work was to study the arrowroot starch treated with ionizing radiation in a cobalt-60 Gammacell 220 source at doses of 5 kGy, 10 kGy and 15 kGy, at a rate of 1 kGyh⁻¹, and to compare with the control sample. To do so, the samples were submitted to X-ray diffraction, Fourier transform infrared spectroscopy, texture testing, color instrumental analysis, thermal analysis (TG and DSC) and image analysis. After the tests, it was found that the radiation did not alter the FTIR spectrum and thermogravimetry. Although it affected the granule size, the radiation did not damage it. X-ray diffraction and thermal analysis showed a degradation of the amorphous part of the granule (crystallinity and enthalpy increased) after irradiation. In the study of pasting properties in a Rapid Visco Analyser, there was a decrease in viscosity with increasing radiation dose and the hydrogels appeared to be harder and lighter.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVO	03
2.1 Objetivos específicos	03
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
3.1 Amido	04
3.1.1 Gelatinização e Retrogradação	06
3.1.2 Propriedades de pasta	08
3.2 Araruta	09
3.3 Interação da radiação ionizante com a matéria	11
3.3.1 Efeitos da radiação ionizante em produtos alimentícios	12
3.4 Difração de raios – X	14
3.5 Microscopia óptica e eletrônica de varredura	15
3.6 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier	16
3.7 Análise térmica	17
3.7.1 Termogravimetria	17
3.7.2 Calorimetria Exploratória Diferencial	17
3.8 Textura	18
4 METODOLOGIA	19
4.1 Material	19

4.2	Irradiações	19
4.3	Análises realizadas no amido em pó	20
4.3.1	Difração de Raios-x	20
4.3.2	Morfologia e tamanho dos grânulos	20
4.3.3	Espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho com transformada de Fourier	21
4.3.4	Teor de umidade	22
4.3.5	Termogravimetria	22
4.3.6	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	23
4.4	Análises nos hidrogéis de amido de araruta	24
4.4.1	Propriedades de Pasta	24
4.4.2	Textura	25
4.4.3	Análise Instrumental da cor	25
4.5	Análise estatística	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1	Morfologia e tamanho dos grânulos	28
5.2	Difração de Raios X e Cristalinidade	31
5.3	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	34
5.4	Teor de Umidade	37
5.5	Termogravimetria	38

5.6	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	39
5.7	Propriedades da pasta	40
5.8	Textura	42
5.9	Análise Instrumental da cor	43
6	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Aplicações da radiação ionizante no processamento de alimentos	13
TABELA 2	Tamanho do grânulo (média $\pm$ DP) pela dose absorvida	29
TABELA 3	Principais atribuições para as bandas de absorção no IV para amido de araruta	35
TABELA 4	% umidade no amido de araruta de acordo com a dose de radiação	38
TABELA 5	Eventos em que ocorrem perda de massa em amido de araruta de (0-15 kGy)	38
TABELA 6	Parâmetros da calorimetria exploratória diferencial (DSC) para amido de araruta irradiada (0-15 kGy).	40
TABELA 7	Propriedades das pastas de amido de araruta irradiado (0 -15 kGy)	41
TABELA 8	Parâmetros de cor (L*, a*, b*) analisadas no gel de amido de araruta irradiado com diferentes doses.	44
TABELA 9	Comparação numérica da diferença entre cores da amostra do amido nativo e dos amidos irradiados	44

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Representação esquemática da cadeia linear da amilose (esquerda) e amilopectina (direita)	05
FIGURA 2	Viscograma típico do RVA e seus respectivos parâmetros avaliados	09
FIGURA 3	Rizomas de Araruta	10
FIGURA 4	Fonte de ^{60}Co Gammacell 220 AECL	19
FIGURA 5	Sputter Coater SCD-050 e Microscópio eletrônico de varredura	21
FIGURA 6	Espectrômetro Nicolet iS50FT-IR	22
FIGURA 7	Analizador Termogravimétrico modelo SDT Q600	23
FIGURA 8	Calorímetro DSC 6000 Perkin Elmer	23
FIGURA 9	Rapid Visco Analyser da Perten Instruments	24
FIGURA 10	Analizador de textura TA-XT2i	25
FIGURA 11	Espaço de cor CIELab	26
FIGURA 12	Micrografias dos grânulos de amido de araruta não irradiada (à esquerda) e araruta irradiada com dose de 5kGy (à direita), com de aumento 1000x.	28
FIGURA 13	Micrografias dos grânulos de amido de araruta irradiada a 10kGy (à esquerda) e araruta irradiada a 15kGy (à direita), com de aumento 1000x.	28
FIGURA 14	Distribuição do tamanho dos grânulos de amido de araruta irradiado (0-15 kGy)	30
FIGURA 15	Difratograma do amido de araruta a 0kGy	32

FIGURA 16	Difratograma do amido de araruta irradiado (0-15 kGy)	32
FIGURA 17	Índice de cristalinidade das amostras irradiadas (0-15 kGy)	33
FIGURA 18	Espectro do FTIR da amostra de 0 kGy do amido de araruta.	34
FIGURA 19	Espectro do FTIR das amostras do amido de araruta de 0 kGy à 15 kGy	36
FIGURA 20	Termogravimetria do amido de araruta (0 – 15) kGy	39
FIGURA 21	Hidrogéis de amido de araruta preparados com amostra controle e irradiada com 15 kGy	42
FIGURA 22	Força máxima em função da dose de radiação em hidrogéis de araruta	43

1 INTRODUÇÃO

O amido é um tipo de carboidrato de origem vegetal que está disponível em grande quantidade na natureza, e que é encontrado principalmente, em órgãos de reserva das plantas, grãos de cereais e raízes. É amplamente utilizado pelas indústrias alimentícia, de bens de consumo, química, farmacêutica, papelreira, de construção civil, têxtil e petrolífera (ANÔNIMO, 2015).

Os amidos nativos podem ser modificados para adquirirem diversas propriedades de interesse industrial, tais como: características espessante, texturizante, retentor de umidade, gelatinizante e estabilizante. Essas modificações, que servem para introduzir poder emulsificante, diminuir a retrogradação e aumentar a estabilidade das pastas, podem ser feitas por processos físicos, químicos ou enzimáticos, podendo resultar em alterações nas ramificações glicosídicas (BOBBIO E BOBBIO, 1992). O tratamento por radiação - processo físico- pode modificar as propriedades químicas, físicas e funcionais dos mais diversos tipos de materiais biológicos, biopolímeros naturais, polissacarídeos ou proteínas (TAIPINA et al., 2010; INAMURA et al., 2010; MASTRO, 2010; MASTRO & MATTIOLO, 2010; BARBOSA et al., 2012; INAMURA et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2012; INAMURA et al., 2013). Entretanto, muitos dos efeitos benéficos das radiações, são, às vezes, limitados por causa de efeitos deletérios sobre outras propriedades dos produtos em estudo.

A araruta (*Maranta arundinacea*) é uma planta de origem tropical, cuja fécula apresenta vários usos medicinais, mas é na culinária que o uso desta planta se destaca, recomendada para pessoas com restrições alimentares ao glúten (doença celíaca). Considerada como um alimento de fácil digestão, o amido de araruta é usado no preparo de mingaus, bolos e biscoitos. Por esta característica, é indicado para idosos, crianças pequenas e pessoas com debilidade física ou doentes em recuperação (JYOTHI, SAJEEV & SREEKUMAR, 2010).

A ação da radiação sobre amidos de interesse comercial, trigo, milho, mandioca e batata, está bem documentada (TEIXEIRA et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2018). Entretanto, pouco se conhece sobre o comportamento do amido de araruta submetido à ação da radiação ionizante.

2 OBJETIVO

Caracterização dos efeitos do processamento pela radiação ionizante em amido de araruta comercializado para uso em alimentação humana. Serão estudados os aspectos reológicos e estruturais do amido de araruta.

2.1 Objetivos Específicos

- Identificar e quantificar a fase cristalina no amido de araruta;
- Estudar a morfologia dos grânulos (formato e tamanho) do amido de araruta e sua modificação pela ação da radiação;
- Identificar e determinar mudanças produzidas pela radiação em grupos funcionais e estrutura de macromoléculas por espectroscopia de infravermelho do amido em estudo;
- Observar as modificações induzidas pela radiação nas propriedades de pasta, como o ponto de viscosidade máxima, viscosidade mínima, claridade da pasta, textura, entre outras;
- Realizar análise térmica: Termogravimetria e Calorimetria Exploratória Diferencial no amido de araruta irradiado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Amido

Amplamente distribuído em diversas espécies vegetais, o amido é um carboidrato de reserva, sendo abundante em grãos de cereais (40% a 90% do peso seco), leguminosas (30% a 50% do peso seco), bulbos e tubérculos (65% a 85% do peso seco) e frutas imaturas ou verdes (40% a 70% do peso seco) (LAJOLO & MENEZES, 2006). Fonte importante de carboidratos na alimentação humana, representando 80% a 90% de todos os polissacarídeos da dieta (WHO/FAO, 1998). O amido é um polissacarídeo composto por várias cadeias poliméricas de amilose e amilopectina. A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas $\alpha(1 \rightarrow 4)$, originando uma cadeia linear ou ligeiramente ramificada, sendo esta, um componente menor que a amilopectina. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose em $\alpha(1 \rightarrow 4)$ e $\alpha(1 \rightarrow 6)$, que resulta em uma estrutura ramificada, sendo o principal componente altamente ramificado do amido (ELIASSON, 2004; TESTER et al., 2004; PERONI, ROCHA & FRANCO, 2006).

Esses polímeros estão associados por pontes de hidrogênio. Juntos, eles configuram o grânulo, formando regiões cristalinas que mantêm a sua estrutura, controlando o comportamento do amido e limitando a quantidade de água absorvida (BULÉON et al., 1998). Os grânulos de amido são semicristalinos, possuindo partes amorfas, e, quando tratados com ácido clorídrico diluído ou ácido sulfúrico, a parte amorfa pode ser removida, permanecendo a parte cristalina. A partir deste, percebe-se que a amilose é completamente amorfa enquanto a amilopectina é completamente cristalina (FIG 1) (BERTOFT, 2017). Jane e Shen (1993), estudando grânulos de amido de batata, concluíram que a amilose está mais concentrada nas suas partes periféricas do que no interior. No entanto, Blennow et al. (2003), concluíram que em grânulos de amido de batata, a amilose está confinada no seu interior, portanto, a localização desse polímero no grânulo ainda está em estudo.

FIGURA 1 - Representação esquemática da cadeia linear da amilose (esquerda) e amilopectina (direita) (QUIROGA, 2015).

As proporções em que estas estruturas aparecem diferem entre as diversas fontes, entre variedades de uma mesma espécie e, ainda, em uma mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta (PERONI et al., 2006).

As cadeias podem ficar menores e as ramificações podem ser alteradas, devido as modificações realizadas por processos físicos e químicos (BOBBIO E BOBBIO, 1992). O tamanho e a forma de grânulos de amido estão entre os fatores de importância na determinação de usos potenciais de amidos (LEONEL, 2007). Por outro lado, o amido pode ser modificado para melhorar ou inibir características originais como aumento da estabilidade, gelatinização, melhorar sensação ao paladar, alterar viscosidade, poder de inchamento e outras propriedades particulares (RIBEIRO, 2011; AMARAL et al, 2011).

Denardin & Silva (2009) mencionam a existência de relação entre a estrutura molecular do amido e propriedades físico-químicas. O teor de amilose, a distribuição de comprimento das cadeias de amilopectina e o grau de cristalinidade no grânulo, estariam intimamente relacionadas a eventos associados com a gelatinização e retrogradação, inchamento do grânulo, lixiviação de amilose e/ou amilopectina, perda da estrutura radial (birrefringência), supra-molecular (cristalinidade) e molecular e recristalização.

As propriedades características dos amidos são: solubilidade e inchamento dos grânulos, gelatinização, retrogradação, claridade das pastas e susceptibilidade enzimática. Essas dependem das características do amido como, teor de amilose e amilopectina, tamanho dos grânulos, constituintes presentes na amostra ou resíduos da extração (CEREDA et al., 2001).

O grânulo de amido em seu estado natural tem capacidade limitada de absorver água, porém, durante o aquecimento da suspensão aquosa, a parte cristalina mantém a região amorfa intacta, que absorve a água e incha rapidamente. Portanto o poder de inchamento é uma medida da capacidade de hidratação dos grânulos e depende do teor de amilose (OLIVEIRA, 2011).

A susceptibilidade enzimática do amido depende da fonte do amido, do tamanho do grânulo, do teor de amilose e amilopectina, da cristalinidade, do tipo polimórfico (A, B, ou C), tipo de enzima, condições de hidrólise (concentração, pH, temperatura ambiente) (FRANCO & CIACCO, 1992; FRANCO, et al., 1998).

Os principais grupos de enzimas que hidrolisam amidos são α -amilase, β -amilase, glicoamilase e enzimas desramificantes (isoamilases e pululanases) (OLIVEIRA, 2011).

3.1.1 Gelatinização e retrogradação

Em água fria, amidos são quase insolúveis (BOBBIO & BOBBIO, 1992). Quando suspensos em água e submetidos ao aquecimento, os grânulos de amido absorvem água, que penetra na região amorfa formada principalmente por amilose, causando um inchamento dos grânulos. A região cristalina, formada principalmente por amilopectina, fica desestabilizada devido ao aumento do grânulo, a temperatura aumenta, ocorre quebras de pontes de hidrogênio, resultando na fusão dos cristais e perda da birrefringência e tem-se a chamada temperatura de gelatinização

(DAIUTO, 2005; RIBEIRO, 2011). A gelatinização ocorre entre de 50°C e 70°C, dependendo da variedade do amido e da sua origem. Porém quando o teor de água é baixo, há a necessidade de uma temperatura mais elevada (SOUZA & ANDRADE, 2000). Devido às regiões cristalinas dentro do grânulo, os grânulos maiores gelatinizam primeiro, portanto cada um tem a sua temperatura de fusão e a temperatura de gelatinização é uma soma de eventos particulares. O pico de viscosidade acontece quando a maioria dos grânulos estão inchados, e a transparência também. Esse processo é irreversível e é uma propriedade físico-química do amido.

Existem outros fatores que influenciam a gelatinização do amido, um destes é a presença de proteínas, gorduras, sacarose e sal que competem pela presença de água no sistema. Amidos de raízes e tubérculos gelatinizam relativamente a baixas temperaturas com intumescimento rápido e uniforme dos grânulos (BOBBIO & BOBBIO, 1992).

Se o aquecimento for prolongado, a viscosidade diminui devido a destruição dos grânulos, nesta fase ocorre a quebra da viscosidade ou *breakdown*. Ao resfriar a amostra, ela tende a virar um gel, ocorre uma reaproximação das moléculas, as pontes de hidrogênio se reorganizam e expulsam novamente a água (sinérese) e há nova formação de cristais (CUNHA, 2016). Esse processo é chamado de retrogradação e é basicamente uma cristalização das moléculas de amido que ocorre pela forte tendência de formação de pontes de hidrogênio entre moléculas adjacentes. Este processo depende de vários fatores como, presença de outros componentes, temperatura e tempo de armazenamento, pH, fonte de amido e condições de processamento e é potencializada em temperaturas de refrigeração. Quanto maior o teor de amilose mais rápido ocorrerá este processo. As cadeias de amiloses, por apresentarem estrutura linear encontram-se mais disponíveis para reassociar-se, como consequência ocorre maior perda de água (aumento da sinérese) no produto final (SILVA et al., 2008).

O processo de retrogradação pode ser desejável ou indesejável. Ele é a principal causa do envelhecimento de pães; porém, alguns alimentos como pudins e flanes encontram neste fator um aliado, já que aumenta a firmeza e opacidade do gel. Esse processo é potencializado quando congela-descongela essa mistura, visto que os cristais de gelo formados alteram a textura do produto.

Uma alta viscosidade de produtos amiláceos é desejável para usos industriais, a fim de se obter um produto espessante. Para isso, é necessário o controle da retrogradação no resfriamento (SILVA et.al., 2006).

Os amidos são muito utilizados na indústria alimentícia devido às suas propriedades físico-químicas: gelatinização e retrogradação; e as tecnológicas: solubilidade, inchamento, sinérese e comportamento de suas pastas e géis. Para tanto, é necessário levar em consideração as propriedades tecnológicas do amido, como temperatura de gelatinização, tendência à retrogradação (*setback*), índice de solubilidade em água, índice de absorção de água e claridade das pastas.

3.1.2 Propriedades de pasta

Segundo Crosbie e Ross (2007), propriedades de pasta podem ser determinadas pelo ensaio viscográfico em um Rapid Visco Analyser (RVA) analisando a curva de empastamento (FIG 2), e os parâmetros: Temperatura de pasta: temperatura em °C que corresponde ao ponto onde se inicia a formação de curva no gráfico; Tempo de viscosidade máxima ou de pico: tempo no qual se dá a viscosidade máxima de pasta, expresso em minutos; Viscosidade máxima ou de pico: valor máximo de viscosidade obtido durante o teste (pico da curva); Viscosidade mínima: menor valor da viscosidade; Viscosidade final: valor da viscosidade obtido no ponto final do ciclo de resfriamento; *Breakdown* ou quebra: diferença entre a viscosidade de pico e a viscosidade mínima; *Setback*: diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima.

FIGURA 2 – Viscograma típico do RVA e parâmetros avaliados (Newport Scientific, 1998)

A claridade da pasta é importante principalmente na produção de filmes. A transparência e o brilho da embalagem plástica são desejáveis como resultado final para o consumidor. A cor é um parâmetro que depende da espécie botânica utilizada na pasta para fabricação do filme (BERTUZZI, ARMADA & GOTTIFREDI, 2007; RADUNZ et.al., 2018).

As pastas que contém relativamente elevados níveis de amilose (milho, trigo, arroz), se tornam mais opacas. Pastas obtidas de féculas de batata ou mandioca, geralmente se tornam menos opacas (OLIVEIRA, 2011).

3.2 Araruta

A araruta (*Maranta arundinacea*), espécie do gênero *Maranta*, é uma planta de origem tropical, com caule articulado que cresce a uma altura de 0,9-1,5 m (FIG 3) (ERDMAN & ERDMAN, 1984). A colheita de seus rizomas pode ser feita de 9 a 12 meses após o plantio (FERRARI, LEONEL & SARMENTO, 2005). Sua fécula possui um teor de amido de 20%, menor do que o encontrado na mandioca (31,09%), maior que o da batata-doce

(14,72%) (LEONEL & CEREDA, 2002), mas com um teor de amilose de 21,9% e 62,3% de amilopectina, segundo Aprianita (2014).

FIGURA 3 – Rizomas de Araruta

A araruta também é conhecida como agutiguepe, araruta-caixulta, araruta-comum, araruta-especial, araruta-gigante, araruta-palmeira, araruta-raiz-redonda, araruta ramosa, embiri e agutingue-pé. "Araruta" é o termo oriundo do aruaque aru-aru, "farinha de farinha" ; "embiri" provém do tupi embira, "embira pequena" (FERREIRA, 1986).

Estudos arqueológicos mostram evidências do cultivo de araruta nas Américas há pelo menos 7000 anos. É considerada originária dessa região, principalmente das regiões tropicais (e com pequenas plantações na Europa), concentrada em cerrados e na Floresta Amazônica, e distribuída em mais de 34 espécies (ERDMAN, 1986; VIEIRA & SOUZA, 2008).

Segundo a sabedoria popular, a araruta tem vários usos medicinais, mas é na culinária (preparo de biscoitos, bolos e mingaus) que o uso desta planta se destaca por ser um alimento de fácil digestão, recomendada para pessoas com restrições alimentares ao glúten (doença celíaca), crianças e doentes em recuperação (JYOTHI et al., 2010; SRIAMORNSAK, JUTTULAPA & PIRIYAPRASARTH, 2010). A araruta vem despertando interesse das indústrias produtoras de amido no Brasil frente a relatos de propriedades diferenciadas desse amido em produtos de

panificação (LEONEL, CEREDA & SARMENTO, 2002). Ela corre o risco de extinção devido ao fato da indústria alimentícia ter substituído o polvilho de araruta pelo de mandioca ou pela farinha de trigo ou milho, prejudicando, assim, o cultivo daquela planta. A Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) junto com a Empresa de Assistência Técnica e Rural (EMATER) tem feito um trabalho de resgate da araruta em sua Fazendinha Agroecológica.

(<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/AgrobCap6ID-hfStG1VdpS.pdf>), onde as variedades são cultivadas organicamente.

3.3 Interação da radiação ionizante com a matéria

O espectro eletromagnético se estende desde a radiação de menor comprimento de onda (maior frequência), como os raios gama e os raios X, passando pela radiação ultravioleta, a luz visível e a radiação infravermelha, até as ondas eletromagnéticas de maior comprimento de onda com são as ondas de rádio. Radiação ionizante é a radiação que possui energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, ou seja, é capaz de arrancar um elétron de um átomo ou molécula. Quando um fóton (radiação gama – γ ou X) penetra num meio, pode interagir através de três processos: efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de par. Os tipos de interações da radiação com a matéria dependerão da energia do fóton incidente (BITELLI, 1982).

Segundo Okuno (2013), a sequência dos estágios da interação da radiação ionizante é a seguinte:

- “estágio físico em que ocorre a ionização de um átomo em cerca de 10-15 s;
- estágio físico-químico, quando ocorrem as quebras das ligações químicas das moléculas que sofreram ionização, com duração de uns 10-6 s;

- estágio químico, quando os fragmentos da molécula se ligam a outras moléculas, com duração de poucos segundos;
- estágio biológico que pode durar dias, semanas ou até várias dezenas de anos quando surgem efeitos bioquímicos e fisiológicos com alterações morfológicas e funcionais dos órgãos.

Os mecanismos de ação da radiação ionizante podem ser de dois tipos:

- mecanismo direto, quando a radiação interage diretamente com as moléculas importantes como as de DNA, podendo causar desde mutação genética até morte celular;
- mecanismo indireto, quando a radiação quebra a molécula da água (radiólise), formando assim radicais livres que podem atacar outras moléculas importantes”. Este mecanismo é importante em materiais ricos em água. Durante o processo de radiólise, observa-se a formação de radicais livres (H e OH) altamente reativos.

Na irradiação de alimentos e materiais biológicos em geral o efeito Compton é predominante, onde fótons com energias médias interagem com um elétron orbital (fracamente ligado), expulsando-o de sua órbita sofrendo um desvio com perda de energia. O elétron ejetado tem energia suficiente para continuar a sua trajetória, causando ionizações e excitações (SOUZA, 2006; GARCIA, 2002).

3.3.1 Efeitos da radiação ionizante em produtos alimentícios

O processamento por radiação ionizante é aplicado em alimentos com diversos objetivos: inibição da germinação (bulbos), retardo do amadurecimento ou aumento de vida-de-prateleira (frutas, vegetais), desinfestação (grãos), controle de parasitas, controle de microrganismos patogênicos (em aves, carnes, mariscos), esterilização para armazenagem segura e no melhoramento de propriedades tecnológicas (MASTRO, 2011, MASTRO, 2015). A TAB 1 mostra aplicações do uso da radiação ionizante

para diferentes doses em alimentos. O tratamento por radiação não é nocivo, pois não induz radioatividade no alimento, porém, deve ser aplicado em condições controladas a fim de evitar efeitos deletérios (SILVA, 2012; BAO, AO & JANE, 2005). No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), em 2001 aprovou a resolução RDC n° 21, onde consta que qualquer alimento pode ser irradiado a qualquer dose, sendo que a dose mínima deve atingir o efeito desejado e a dose máxima não pode prejudicar a qualidade sensorial e nutricional do alimento (BRASIL, 2001).

TABELA 1 - Aplicações da radiação ionizante no processamento de alimentos

Objetivo	Intervalo de dose (kGy)
Inibição da germinação (batata, cebola, alho, etc.)	0,01 – 0,15
Retardo do amadurecimento (frutas e vegetais)	0,01 – 1,0
Desinfestação (grãos, cereais, frutas frescas e secas, peixes secos)	0,2 – 1,0
Controle de parasitas (fígado, carnes, peixes)	0,1 – 1,0
Redução de microrganismos causadores de decomposição (carnes, peixes, vegetais, frutas, especiarias)	0,4 – 10,0
Controle de microrganismos patogênicos (aves, mariscos e carnes)	2,0 -8,0
Melhorar propriedades tecnológicas (aumentar a produção de suco de frutas, reduzir o tempo de cozimento para vegetais desidratados)	1,0 – 10,0
Esterilização comercial para armazenagem segura	10,0 – 50,0

(Adaptado IEA_TECDOC-481, IAEA, Viena, 2017)

Como mencionado anteriormente, a radiação ionizante (feixe de elétrons, raios γ e raios X) age sobre os materiais através de eventos primários: ionização, excitação e captura de elétrons. Assim, são produzidos espécies excitadas, cátions, ânions e radicais livres de alta reatividade. Em materiais poliméricos essa interação resulta em dois efeitos principais: cisão, ou quebras na cadeia polimérica e ou reticulação (*crosslinking*) quando cadeias poliméricas lineares ou ramificadas são interligadas por ligações covalentes, o que induz o aumento da massa molecular.

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 que por sua vez para voltar ao seu estado fundamental. A modificação química induzida pela reticulação poderia melhorar a estabilidade dos grânulos de amido (BHAT & KARIM, 2009; MARÍN et al., 2010). Segundo Chung e Liu (2009), a probabilidade de ocorrer reticulação seria maior quanto menor for a dose da radiação absorvida. O uso de radiação gama reduz progressivamente o peso molecular de amilose e amilopectina, diminuindo a viscosidade e aumentando a solubilidade.

A grandeza física dose absorvida mede a energia depositada em um meio pela radiação ionizante, sua unidade de medida é o gray (Gy). Um gray equivale a 1 J kg^{-1} (um joule por quilograma) de energia absorvida.

3.4 Difração de Raios-X

Ao interagir com um material cristalino, os raios X geram um padrão de difração, tendo cada material seu padrão. A análise por técnica de difração de raios X permite distinguir os três tipos de cristalinidade para os grânulos de amido que, dependendo de sua forma e estrutura cristalina, denominam-se A, B e C (LIMA et al., 2012). As partes amorfas geram picos

largos e baixos, e o plano com maior número de cristais gera picos pontiagudos e estreitos (CANEVAROLO, 2003).

O padrão cristalino tipo A, é um arranjo monocíclico, formado de amilose e amilopectina em dupla hélice compactadas, possui pouco espaço para moléculas de água. O padrão tipo B, é um arranjo hexagonal, com uma estrutura aberta altamente hidratada. O padrão do tipo C é uma mistura de padrões do tipo A e B (PERONI, 2003; SAJILATA, SINGHAL & KULKARNI, 2006) contendo polimorfos A e B puros em diferentes proporções. Existem vários tipos de padrões do tipo C, alguns se assemelham ao tipo A (C_A), outros ao tipo B (C_B), e alguns são quase intermediários entre os dois, chamados C_C (WANG et al., 2018).

Cada padrão apresenta um pico característico no difratograma. O padrão cristalino do tipo A, apresenta picos com maior intensidade para ângulos de Bragg 15° , 17° , 18° e 23° ; o tipo B tem seus picos em $5,6^\circ$, 15° , 17° , 22° e 23° ; o tipo C ângulos intermediários (CUNHA, 2016).

3.5 Microscopia Óptica e Eletrônica de Varredura

Para a análise da forma e tamanho dos grânulos de amido é utilizada a microscopia eletrônica de varredura e a microscopia óptica. Diferentes formas e tamanhos de grânulos de amidos são encontrados dependendo da espécie botânica e estes fatores são de grande importância para a indústria de alimentos (SINGH et. al., 2003). O diâmetro médio maior do grânulo pode variar de 1 a $110\ \mu\text{m}$. Grânulos pequenos, por exemplo, podem ser usados como gordura por ter tamanho semelhante ao dos lipídeos, e os grânulos de amido de tamanho grande têm sido evitados em produtos comestíveis como molhos e sobremesas lácteas que exigem uma sensação de maciez na boca (YONEMOTO, 2006).

Grânulos maiores tendem a inchar a temperaturas menores, portanto as propriedades térmicas estão relacionadas com a morfologia desses (DAIUTO, 2005).

3.6 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier

A espectroscopia de absorção na região do infravermelho é usada para a caracterização das farinhas, analisando as bandas referentes a deformações moleculares existentes nas moléculas de amido (LIMA et al, 2012). A técnica de espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) pode ser empregada para a identificação e a determinação de grupos funcionais e em estudos de conformação e estrutura de macromoléculas (CANEVAROLO, 2004).

A molécula orgânica absorve a radiação infravermelha convertendo em energia de vibração molecular. Este movimento vibracional é refletido no espectro e costuma aparecer em forma de bandas. As vibrações moleculares podem ser de dois tipos: deformações axiais (ou estiramento - *stretching*) que ocorrem na direção do eixo da molécula, a distância interatômica aumenta ou diminui alternadamente; e deformações angulares (*bending*) que são movimentos de um grupo de átomos em relação ao resto da molécula, sem que as posições relativas dos átomos do grupo se alterem (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2007).

A possibilidade de dois compostos diferentes terem o mesmo espectro no infravermelho é improvável, assim, através de comparação à literatura, pode-se fazer identificação das estruturas e estabelecer se as moléculas dos amidos sofreram alterações com a radiação ou não.

A localização de uma banda de absorção no infravermelho pode ser especificada em unidades relacionada com a frequência, pelo seu comprimento de onda, medidos em centímetros ou micrômetros ($\nu = 1/\lambda$). A intensidade da banda é medida pela transmitância (T) (STUART, 2004):

$$T = \frac{\text{Energia transmitida}}{\text{Energia incidente}} \quad (1)$$

3.7 Análise Térmica

Análise térmica é um conjunto de técnicas por meio das quais uma propriedade física de uma substância e/ou de seus produtos de reação é medida em função da temperatura, enquanto essa substância é submetida a uma programação controlada de temperatura e sob uma atmosfera especificada (IONASHIRO & GIOLITO, 1988).

3.7.1 Termogravimetria

A termogravimetria é uma técnica na qual a amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura, e a variação de sua massa é medida em função da temperatura e/ou tempo (ITO et al, 2018). O registro é a curva termogravimétrica (ou curva TG). O objetivo é conhecer as alterações que o aquecimento pode provocar na massa das substâncias, permitindo estabelecer a faixa de temperatura em que elas adquirem composição química, fixa, definida e constante, a temperatura em que começam a se decompor, acompanhar o andamento de reações de desidratação, oxidação, combustão, decomposição, etc. (CANEVAROLO, 2004).

Utilizando um recurso matemático que fornece a derivada primeira da curva TG em função do tempo ou da temperatura, tem-se a termogravimetria derivada (DTG). O registro é a curva DTG. A área dos picos sob a curva DTG é proporcional à perda de massa durante um evento térmico (WENDLANDT, 1986).

3.7.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A calorimetria exploratória diferencial mede a diferença de entalpia entre a amostra e um material de referência em função da temperatura, enquanto ambas são aquecidas de acordo com uma

programação controlada de temperatura. A curva gerada tem área dos picos (endotérmicos) de caráter quantitativo de entalpia (CANEVAROLO, 2004). A técnica de DSC fornece informações sobre ordem e desordem dos grânulos de amido em solução aquosa. É capaz de medir a energia requerida para ocorrer a gelatinização da amostra, ou seja, mede a quebra de ligações dentro dos grânulos, mensurando a energia envolvida na transição de um grânulo semicristalino para um gel amorfo (WENDLANDT, 1986; IONASHIRO & GIOLITO, 1988; CUNHA, 2016).

3.8 Textura

A textura é um fator importante para a aceitação sensorial dos alimentos, um critério de qualidade para o produto alimentício. O amido, por sua vez, é o agente de textura mais utilizado na fabricação de produtos à base de molho (QUIROGA, 2015). As propriedades de textura são: gomosidade, flexibilidade, dureza e coesividade. A dureza é expressa pela força máxima para comprimir a amostra na primeira compressão. A coesividade é calculada como a razão entre a área do segundo pico pela área do primeiro pico. A gomosidade é obtida pela multiplicação da dureza pela coesividade. A flexibilidade é medida pela altura que a amostra recupera durante o tempo que decorre entre o final da primeira compressão e o início da segunda (ZAVAREZE et al., 2010).

O que torna um gel mais duro é a cristalização da amilopectina, que ocorre após a sinérese e à cristalização da amilopectina. Quanto maior a cadeia da amilopectina, maior a dureza do gel. Portanto, as propriedades de textura dependem do que o amido é constituído, como o percentual de amilose e amilopectina (SANDHU & SINGH, 2007; RODRIGUES, 2014).

4 METODOLOGIA

4.1 Material

Amido de araruta obtido no comércio local.

4.2 Irradiações

O amido de araruta, embalado em filme plástico próprio para alimentos, foi separado em pacotes de 100 g cada e irradiado utilizando fonte de ^{60}Co Gammacell 220 da Atomic Energy of Canada Ltd (AECL), com taxa de dose de 1 kGy.h^{-1} e fator de uniformidade de dose de 1,13. A dosimetria tinha sido realizada com filmes dosimétricos de acetato de celulose “CTA-FTR-125” (Fuji PhotoFilmCo. Ltd), e as doses aplicadas foram de 0 kGy, 5 kGy, 10 kGy e 15 kGy, cada pacote com uma dose. As análises foram realizadas no Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do IPEN-CNEN/SP (FIG 4).

FIGURA 4 – Fonte de ^{60}Co Gammacell 220 AECL

4.3 Análises realizadas no amido em pó

4.3.1 Difração de Raios X

A análise foi realizada no Laboratório de Difração de raios-X, do Centro de Combustível Nuclear (CCN-IPEN/SP), no equipamento *Bruker D8 Advance*, equipado com tubo de cobre, operando em 40 kV e 30 mA, com monocromador de grafite e detector de cintilação. O raio do goniômetro é de 250 mm. Foram utilizadas as seguintes identificações: fendas antiespalhamento e divergente de 1.0 mm e fenda de recepção de 0.4 mm, a velocidade de varredura foi de 0,04° a cada 10 segundos, sob ângulo 2θ variando de 5° a 37°. A relação entre a área dos picos e a área total resultou na cristalinidade relativa.

O Índice de Cristalinidade IC de cada amostra foi calculado utilizando o método de Nara & Komiya (1983) (Cheetham & Tao, 1998) utilizando o Software Bruker EVA considerando equação (2):

$$IC = \frac{\text{fração cristalina}}{\text{fração cristalina} + \text{fração amorfa}} \times 100 \quad (2)$$

4.3.2 Morfologia e tamanho dos grânulos

A análise da morfologia dos grânulos das diferentes amostras irradiadas foi realizada com microscopia eletrônica de varredura e microscopia óptica. A análise de microscopia óptica foi realizada no Centro de Biotecnologia (CB-IPEN). A diluição foi preparada na proporção 100 mg de amido de araruta e 10 mL de água, dispersada em banho de ultrassom (30 segundos). Vinte fotografias foram feitas com um aumento de 40x, em um microscópio Nikon Eclipse 80i com o auxílio do software *NIS-Elements*. As fotografias foram analisadas mediante o programa ImageJ para a avaliação do tamanho dos grânulos.

A análise da morfologia dos grânulos foi realizada no laboratório de Microscopia e Microanálise do CCTM, IPEN-CNEN/SP, utilizando a microscopia eletrônica de varredura. As amostras foram colocadas em fita de carbono, e levadas ao equipamento Sputter Coater SCD-050 do fabricante Bal-Tec (FIG 5), para que fosse depositada uma fina camada de ouro a fim de se obter uma boa condução dos elétrons. As amostras metalizadas foram observadas em microscópio eletrônico de varredura da marca Hitashi, modelo TM3000 (FIG 5). As micrografias foram tiradas nas escalas de 500x e 1000x de magnificação, utilizando uma tensão de aceleração no modo analyse.

FIGURA 5 – Sputter Coater SCD-050 e Microscópio eletrônico de varredura.

4.3.3 Espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho com transformada de Fourier

Foi utilizado espectrômetro Nicolet iS50 FT-IR com transformada de Fourier, localizado no Senai – Mario Amato/SP (FIG 6). Utilizou-se um acessório ATR, de cristal de ZnSe com ângulo de incidência de 45° acoplado ao equipamento. Os espectros foram adquiridos com 32 *scans* e resolução de 4 cm^{-1} , na faixa espectral de 4000 a 650 cm^{-1} .

FIGURA 6 - Espectrômetro Nicolet iS50FT-IR

4.3.4 Teor de umidade

A umidade foi determinada utilizando estufa com circulação de ar Marconi, e 2g de amostra e a temperatura de 130°C/1h, conforme a metodologia da AACCI 44-15.02.

4.3.5 Termogravimetria

A termogravimetria foi realizada no analisador termogravimétrico modelo SDT Q600 (FIG 7), localizada no Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do IPEN-CNEN/SP. As análises foram realizadas nas seguintes condições: massa da amostra de aproximadamente 5,0 mg acondicionadas em um cadinho de platina; atmosfera de ar sintético a uma vazão de 100 $mL.min^{-1}$ e razão de aquecimento 20 $^{\circ}C.min^{-1}$ de 25°C até 450°C. As curvas TGA foram determinadas por meio do software Universal Analysis 2000 fornecido pela TA Instruments.

FIGURA 7 – Analizador Termogravimétrico modelo SDT Q600

4.3.6 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As curvas de fluxo de calor para os amidos estudados foram determinadas usando um calorímetro de varredura diferencial DSC 6000 Perkin Elmer (FIG 8), localizado no Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do IPEN-CNEN/SP. O amido de araruta foi pesado em panela de alumínio e misturado com água destilada na proporção de 1: 1. As amostras foram de aproximadamente 6,5 mg e seladas hermeticamente. Uma panela de alumínio vazia foi usada como referência. As panelas foram aquecidas de 0 ° C a 200 ° C a uma velocidade de varredura de $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, sob um fluxo de N2 seco ($50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$). Eventos térmicos como o início (T_o), pico (T_p), temperaturas finais (T_f) e gelatinização da entalpia (ΔH) foram determinados a partir dos termogramas. A entalpia de gelatinização (ΔH) foi expressa por grama de amido seco.

FIGURA 8 – Calorímetro DSC 6000 Perkin Elmer

4.4 Análises nos hidrogéis de amido de araruta

4.4.1 Propriedades de Pasta

As propriedades de pasta das farinhas foram determinadas em aparelho Rapid Visco Analyser (modelo RVA-4500 da Perten Instruments, Warriewood, Austrália – FIG 9), usando programa Thermocline for Windows versão 3, no Instituto de Tecnologia de Alimentos em Campinas/SP. Cada farinha foi analisada em triplicata. Foram pesados 2,5 g de amostra (passadas em peneira), corrigidos para 14% de umidade, que foram adicionados a 25 mL de água em copo especial de alumínio. A dispersão foi feita com o agitador acrílico do próprio aparelho. O conjunto copo/agitador foi acoplado ao aparelho e o teste iniciado pelo programa Extrusion 1, cuja a programação tempo/temperatura seguiu-se de acordo com a metodologia de Ferrari et al (2005): 50°C por um minuto, aquecimento de 50°C a 95°C a uma taxa de $6^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$, manutenção da pasta a 95°C por 5 min e resfriamento de 95°C a 50°C a uma taxa de $6^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$.

Os parâmetros usados para a interpretação dos resultados foram: Temperatura de pasta; Tempo de viscosidade máxima ou de pico; Viscosidade máxima ou de pico; Viscosidade mínima; Viscosidade final; *Breakdown* ou quebra; *Setback*.

FIGURA 9 – Rapid Visco Analyser da Perten Instruments

4.4.2 Textura

A dureza do gel das amostras foi determinada utilizando o analisador de textura TA-XT2i Godalming, versão 6.10 e 7.10, da marca Stable Micro Systems, 1997 (FIG 10), no Instituto de Tecnologia de Alimentos em Campinas/SP. O gel obtido da análise de RVA, foi mantido no seu próprio copo de alumínio, foram vedados com filme plástico de PVC transparente e deixado a temperatura de 23°C até o seu completo resfriamento e realizadas as leituras de dureza do gel. As velocidades de pré-teste, teste e pós teste, foram respectivamente 0,5 mm/s, 1,0 mm/s, e 10 mm/s, com uma distância de penetração da amostra de 5 mm, utilizando um *probe* de acrílico cilíndrico de P20.

FIGURA 10 – Analisador de textura TA-XT2i

4.4.3 Análise Instrumental da cor

A cor do gel dos amidos de araruta irradiados foi determinada pela análise de RVA, mantido no seu próprio copo de alumínio, foram vedados com filme plástico de PVC transparente e deixado a temperatura de 23°C até o seu completo resfriamento e realizadas as leituras de cor analisada em colorímetro modelo CR-410 (Konica Minolta, Japão), no Instituto de Tecnologia de Alimentos em Campinas/SP, usando o sistema CIE $L^*a^*b^*$ (FIG 11), onde L^* indica a luminosidade, que vai do zero (preto)

ao 100 (branco), a^* e b^* indicam as coordenadas de cromacidade, sendo que $+a^*$ é a tendência para o vermelho e $-a^*$ é a tendência para o verde; $+b^*$ é a tendência para o amarelo e $-b^*$ a tendência para o azul. Os valores de a^* e b^* permitem calcular o croma (C), que indica a saturação ou a intensidade da cor (0 – cor impura e 60 – cor pura), e o ângulo Hue, que quantifica a cor (ângulo da cor; 0° vermelho; 90° amarelo; 180° verde; 270° azul e 360° negro), através das EQ 3 e 4 (SÁ et al., 2008):

Figura 11 – Espaço de cor CIELab

Fonte: (TEIXEIRA, 2016)

$$Chroma = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3)$$

$$Hue = \tan^{-1} b/a \quad (4)$$

Para realizar uma comparação numérica entre a amostra do amido nativo e as amostras irradiadas, usou-se a diferença de cores (Δ). Os deltas para L^* (ΔL), a^* (Δa) e b^* (Δb) podem ser negativas ou positivas. Se ΔL^* for positivo, está mais claro; se for negativo, está mais escuro. Se Δa^* for positivo, está mais vermelho; se for negativo está mais verde. Se Δb^* for positivo, está mais amarelo; se for negativo está mais azul. A diferença total, Delta E (ΔE^*), no entanto, é sempre positiva e representa a diferença total de cor entre as três coordenadas. A equação utilizada foi a EQ 3 (CHROMA METER):

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (5)$$

4.5 Análise estatística

O tratamento estatístico dos dados foi realizado por meio de análise de variância pelo teste ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade. Para tanto, foram utilizados os softwares Minitab 18, Origin 8 e Excel 2016.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Morfologia e tamanho dos grânulos

A microscopia eletrônica de varredura fornece informações sobre a morfologia dos grânulos, que podem ser visualizadas nas FIG 12 e 13, de acordo com a dose com que as amostras foram irradiadas. Observa-se que o formato predominante dos grânulos das amostras do amido de araruta nativo e irradiado é circular, não aparentam estar danificados, pois apresentam superfícies lisas, poucas irregularidades e sem porosidades superficiais.

FIGURA 12 – Micrografias dos grânulos de amido de araruta não irradiada (à esquerda) e araruta irradiada com dose de 5kGy (à direita), com de aumento 1000x.

FIGURA 13 – Micrografias dos grânulos de amido de araruta irradiada a 10kGy (à esquerda) e araruta irradiada a 15kGy (à direita), com de aumento 1000x.

Através da microscopia óptica foi possível determinar o tamanho dos grânulos. O diâmetro médio de Feret das amostras podem ser visualizados na TAB 2.

TABELA 2 – Tamanho do grânulo (média $\pm$ DP) pela dose absorvida

Dose (kGy)	Diâmetro médio (μ m)	N
0	29.0 ^a $\pm$ 9.0	1333
5	25.0 ^b $\pm$ 7.0	2284
10	28.0 ^c $\pm$ 9.0	3025
15	25.0 ^b $\pm$ 7.0	3368

Valores com sobrescritos diferentes em cada coluna são significativamente diferentes ($p < 0.05$).

A distribuição normal é uma das distribuições de probabilidade mais utilizadas para modelar fenômenos naturais. Na FIG 14 são apresentados os histogramas de frequências do número de eventos em função do logaritmo do diâmetro do grânulo.

A radiação pode quebrar macromoléculas do amido e romper estruturas de regiões amorfas e até cristalinas dos grânulos, podendo influenciar na resistência destes modificando a sua estrutura o que irá alterar o seu tamanho (CHUNG & LIU, 2009). No presente estudo as doses aplicadas afetaram pouco: apenas diminuiu ligeiramente o tamanho dos grânulos. Para amido de milho, Teixeira (2016), também encontrou uma diminuição no tamanho dos grânulos após a irradiação: predomínio no tamanho dos grânulos para a amostra controle tinha sido de 16 a 24 μ m, e para a amostra irradiada a 15 kGy, o predomínio do tamanho do diâmetro maior foi de 14 μ m.

FIGURA 14 - Distribuição do tamanho dos grânulos de amido de araruta irradiado (0-15 kGy).

Os resultados obtidos no presente trabalho sobre tamanho dos grânulos evidenciam que a amostra não irradiada, tem diâmetro médio igual ao encontrado na literatura. Para amido de araruta nativo, Leonel (2007) encontrou grânulos circulares e ovalados com diâmetro maior médio entre 9 a 42 μm , com média de 29,54 μm . Rodrigues (2014) obteve resultados muito próximos, com média de 29 μm , enquanto Daiuto (2005) chegou a resultados equivalentes, 25,46 μm . Hernández-Medina et.al. (2008), fazendo a caracterização físico química de amido de tubérculos, encontraram uma

média de tamanho para o amido de araruta de 10,64 μm , 12,41 μm para batata doce e 16,5 μm para mandioca.

O trabalho de Ferrari et.al. (2005), mostrou que há diferença no tamanho dos grânulos do amido de araruta dependendo do estágio de desenvolvimento da planta. Com 12 meses de cultivo, o tamanho médio do diâmetro estava na faixa de 20 a 27 μm e para amidos com 14 meses de cultivo, o tamanho do grânulo encontrado aumentou para 25 a 32 μm .

Valencia (2015), estudando as propriedades físico químicas do amido de araruta, encontrou para diâmetro médio do grânulo 56,6 μm , com formato esférico e alongado (elíptico).

5.2 Difração de Raios X e Cristalinidade

As amostras foram analisadas com a finalidade de estimar as frações cristalinas e amorfas da amostra. Segundo Van Soest & Vliegenthart (1997) os amidos de cereais apresentam cristalinidade do tipo A os amidos de tubérculos cristalinidade do tipo B e os amidos de raízes e sementes cristalinidade do tipo C.

A FIG 15, representa o difratograma da amostra controle (0 kGy). Nele, observa-se que a cristalinidade do amido de araruta é do tipo A, corroborando com os resultados reportados na literatura (DAR et. al, 2018; WANG et al., 2018) e apresenta 4 picos principais, um em 15°, 17°, 18° e 23°. Os picos em 38° e 44° são devidos ao porta amostra de alumínio. Pepe et.al. (2015) e JYOTHI et al. (2010) encontraram um padrão cristalino do tipo C_A.

FIGURA 15 – Difratograma do amido de araruta a 0kGy

A FIG 16 apresenta o difratograma de todas as amostras irradiadas e não irradiadas sobrepostas. Nota-se que os picos não ficaram deslocados, mas a intensidades dos picos foram alteradas. Quanto maior a dose de radiação, os picos produzidos são levemente mais baixos.

FIGURA 16 –Difratograma do amido de araruta irradiado (0-15 kGy)

O índice de cristalinidade (IC) obtido para as amostras irradiadas com as diferentes doses pode ser visualizado no FIG 17.

FIGURA 17 – Índice de cristalinidade (IC) das amostras irradiadas (0-15 kGy)

Os valores de IC encontrados foram de $29,0 \pm 1,6$; $30,6 \pm 1,0$; $29,5 \pm 1,0$ e $29,5 \pm 1,2$ (%) para as amostras de amido irradiadas com 0, 5, 10 e 15 kGy respectivamente. Houve um leve aumento da cristalinidade, evidente especialmente para a dose de 5 kGy, porém não significativo estatisticamente ($p > 0,05$).

O grau de cristalinidade de um amido é proporcional à sua composição, sendo a região amorfa formada por amilose e a região cristalina por amilopectina (APRIANITA, 2014). Cunha (2016) encontrou um índice de cristalinidade de 40,79% para araruta do tipo seta e 39,17% para a araruta do tipo redonda.

O IC pode aumentar por efeito da radiação, pois ela degrada preferencialmente regiões amorfas (TEIXEIRA, 2016). Pepe (2011), fazendo o tratamento térmico com baixa umidade em amido de araruta verificou que houve um aumento progressivo na cristalinidade relativa com o aumento do tempo de tratamento, diferente dos amidos de mandioca e mandioquinha-salsa. Esse autor encontrou um valor de IC do amido de araruta nativo de 36,8%, maior que encontrado no presente estudo.

5.3 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia no infravermelho se baseia no fato de que as ligações químicas das substâncias possuem frequências de vibração específicas, as quais correspondem a níveis de energia da molécula (chamados nesse caso de níveis vibracionais). Tais frequências dependem da forma da superfície de energia potencial da molécula, da geometria molecular, das massas dos átomos e eventualmente do acoplamento vibrônico. Esta técnica espectroscópica é utilizada para a obtenção de espectros de absorção ou emissão no infravermelho que coleta simultaneamente dados de alta resolução espectral sobre uma ampla faixa espectral. Mediante FTIR é possível monitorar as vibrações dos grupos funcionais que caracterizam a estrutura molecular e governam o curso de reações químicas.

Na FIG 18 é apresentado o espectro de IV com transformada de Fourier obtido com a amostra de amido de araruta não irradiada.

FIGURA 18 – Espectro do FTIR do amido de araruta.

A absorção na região $3.600 - 2.700 \text{ cm}^{-1}$ é associada às vibrações de deformação axial nos átomos de hidrogênio ligados a carbono, oxigênio e nitrogênio (C-H, O-H e N-H) (SILVERSTEIN et al., 2007). Na região de 1636 cm^{-1} , aparece uma banda que indica a presença de água no amido (VALENCIA, HENAO & ZAPATA, 2012). A banda de absorção na região 1336 cm^{-1} é uma deformação angular do grupo CO_2 (SILVERSTEIN et al., 2007). As bandas de 1243 a 1000 cm^{-1} , são associadas as deformações de estiramento de C-O de éteres, álcoois e fenóis e às vibrações de deformações de estiramento do sistema O-C-O (CUNHA, 2016). Bandas encontradas na região de 950 cm^{-1} e 810 cm^{-1} , geralmente são associadas a vibrações axiais de C-O-C que são elongações simétricas características de amidos (GORDILLO et. al., 2014; VALENCIA et.al., 2015). Na TAB 3 estão dispostas as bandas características do amido de araruta e sua correspondente atribuição.

TABELA 3 – Atribuições para as bandas de absorção no IV para amido de araruta

Atribuição	Faixa de absorção (cm^{-1})	Bandas características do amido de araruta (cm^{-1})
Deformação Axial O-H	3600 – 2700	3258
Deformação Axial C-H	3600 -2700	2943 e 2882
Deformação Angular Água presente na amostra	1653-1645	1636
Deformação Angular CO_2	666 e 1334	1336
Deformação Axial C-O	1275 – 1020	1243 a 1000
Deformação Axial C-O-C	950 – 810	861

A FIG 19 apresenta os espectros IV com transformada de Fourier de amido de araruta. A amostra controle e as amostras irradiadas apresentam as mesmas bandas características, com pequenas variações, porém com aumento na intensidade de bandas (transmitâncias). Aparentemente, haveria uma banda fraca a 2981 cm^{-1} , atribuída a vibração de estiramento CH (DAR et al., 2018), inexistente na amostra não irradiada. Noor et al (2018), trabalhando com polissacarídeos nativos, também atribuiu um pico na faixa de $2990\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ para as vibrações de estiramento de ligações C-H. Teixeira et. al. (2018), verificaram que a radiação gama também não modificou o espectro do infravermelho em amido de milho e batata, mas houve diferença nas intensidades das bandas.

a)

b)

FIGURA 19 - a) Espectros FTIR de amido de araruta irradiado; b) Espectros com imagem zoom

5.4 Teor de Umidade

Os resultados da determinação do teor de umidade podem ser visualizados na TAB 4. Os valores diferem cerca de 2% do valor encontrado na literatura (RODRIGUES, 2014). Não houve diferença no teor de umidade das amostras do amido irradiadas e não irradiadas.

TABELA 4 – % umidade no amido de araruta de acordo com a dose de radiação aplicada

Dose	Umidade (%)
0kGy	13,1 ± 0,1
5kGy	13,0 ± 0,2
10kGy	13,1 ± 0,1
15kGy	13,1 ± 0,2

5.5 Termogravimetria

Com a análise de termogravimetria verificou-se que o amido de araruta após ser submetido a altas temperaturas, possui três regiões com perdas de massa (TAB 5).

TABELA 5 - Eventos em que ocorrem perda de massa em amido de araruta de (0-15 kGy).

Amostra	1º Evento		2º Evento		3º Evento	
	Perda de Massa	Intervalo de Temp. (°C)	Perda de Massa	Intervalo de Temp. (°C)	Perda de Massa	Intervalo de Temp. (°C)
0 kGy	14,8%	25,7 - 133,5	68,9%	251,2 – 379,7	5,8%	379,7 – 440,0
5 kGy	9,2%	29,5 - 132,1	67,8%	246,0 – 381,2	6,2%	381,2 – 439,6
10 kGy	15,3%	23,8 – 138,7	70,2%	249,3 – 380,7	5,9%	380,7 – 439,8
15 kGy	14,2%	25,7 – 134,0	67,2%	244,6 – 379,3	6,1%	379,3 – 439,8

O primeiro evento é atribuído a evaporação da água, ocorrendo sempre entre 23°C e 140°C. O segundo e o terceiro evento foram atribuídos à degradação térmica do amido (seus compostos como proteínas, lipídios e fibras). É neste segundo evento que ocorre a maior perda da massa do amido (cerca de 68%) e a degradação começa por volta dos 250°C (ITO et al., 2018). Valencia et al. (2015) e Cunha (2016), também encontram três regiões de perda de massa para amido de araruta. As amostras irradiadas e a amostra controle, não apresentaram diferenças significativas quanto a perda de massa (FIG 20), com exceção da amostra irradiada com menor dose, que apresentou uma menor perda de massa no primeiro evento. Teixeira (2016), estudando alguns tipos de amido (batata, milho e polvilho) irradiados, não notou diferença quanto a perda de massa entre as amostras.

FIGURA 20 – Termogramas do amido de araruta (0 – 15) kGy.

5.6 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Os perfis endotérmicos e as propriedades térmicas do amido de araruta podem ser visualizados na TAB 6. A T_o , T_p e T_c são parâmetros relacionados com a estrutura molecular da região cristalina do grânulo, que corresponde à distribuição das cadeias curtas de amilopectina. A entalpia

aumentou significativamente comparando a amostra controle e as amostras irradiadas. Menores valores de entalpia estão associados a níveis mais elevados de amilose (HERNÁNDEZ et al., 2008). Oliveira et al. (2009) relacionou altos valores de entalpia à cristalinidade da amilopectina e à força com que as duplas hélices formadas por suas cadeias estão associadas no grânulo, sendo assim ΔH , a energia requerida para ocorrer o rompimento da estrutura dos grânulos. Isso indica uma degradação da parte amorfa do amido após a irradiação, o que está de acordo com os resultados da difração de raios-X.

TABELA 6 – Parâmetros da calorimetria exploratória diferencial (DSC) para amido de araruta irradiada (0-15 kGy).

Amostra	Parâmetros DSC			
	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔH (J/g)
Controle	63,9 ^a	71,0 ^a	81,3 ^a	4,2 ^a
5 kGy	66,5 ^b	73,8 ^b	83,7 ^b	21,6 ^b
10 kGy	66,7 ^c	73,9 ^c	83,9 ^c	23,4 ^c
15 kGy	66,9 ^d	74,1 ^d	83,9 ^d	22,3 ^d

Valores com sobrescritos diferentes em cada coluna são significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Segundo dados da literatura, grânulos de amido de trigo, do tipo A, apresentam entalpia de transição maior que grânulos do tipo B (ELIASSON, KARLSON, 1983; SOULAKA, MORISSON, 1985; PENG et al., 1999; YONEMOTO, 2006).

5.7 Propriedades da pasta

Os resultados obtidos após os ensaios em triplicata da análise viscosográfica do amido de araruta irradiado com diferentes doses de radiação pode ser visualizado na TAB 7.

TABELA 7 – Propriedades da pasta de amido de araruta irradiado (0-15 kGy)

Parâmetro\Dose	0kGy	5kGy	10kGy	15kGy
Temp. de pasta (°C)	67,2 ^b ± 0,2	68,1 ^a ± 0,2	68,3 ^a ± 0,1	68,4 ^a ± 0,1
Visc. Máxima (RVU)	173,1 ^a ± 0,3	147,0 ^b ± 0,3	111,0 ^c ± 10	82,0 ^d ± 1,0
Tempo visc. máx. (min)	6,0 ^a ± 0,1	5,4 ^b ± 0,1	5,5 ^b ± 0,0	5,5 ^b ± 0,0
Visc. Mínima (RVU)	48,3 ^a ± 1,3	17,0 ^b ± 0,1	9,0 ^c ± 0,1	5,0 ^d ± 0,1
Visc. Final (RVU)	58,0 ^a ± 2,0	22,0 ^b ± 0,1	10,0 ^c ± 0,1	5,4 ^d ± 0,1
<i>Breakdown</i> (RVU)	125,0 ^a ± 1,4	130,1 ^b ± 0,3	102,0 ^c ± 0,9	77,1 ^d ± 1,2
<i>Setback</i> (RVU)	9,2 ^a ± 0,6	5,3 ^b ± 0,1	0,7 ^c ± 0,0	0,5 ^c ± 0,1

Valores com sobrescritos diferentes dentro de cada linha mostraram-se significativamente diferentes (p<0,05).

A temperatura de pasta é a temperatura em que começa a gelatinização, onde os grânulos começam a inchar. Houve uma pequena variação para essa grandeza entre o amido nativo e as amostras irradiadas. Para a viscosidade máxima atingida das amostras, que ocorre quando a maioria dos grânulos estão inchados, percebe-se que quanto maior a dose de radiação, menor esse pico. Todas as amostras, apresentaram este pico agudo, característico de grânulos que apresentam homogeneidade estrutural, típico da araruta, cujos grânulos são esféricos (CUNHA, 2016). As amostras também apresentaram alto valor de *breakdown*, o que indica baixa estabilidade da pasta e fragilidade dos grânulos. Segundo Ferrari et al (2005), esse alto valor de quebra de viscosidade é uma característica de certos amidos. Ao diminuir a temperatura, os polímeros de amilose e amilopectina dissociados começam a reassociar-se aumentando a viscosidade, chamado *setback*. Nota-se que com o aumento da radiação a tendência a retrogradação é muito baixa. Isso indica, segundo Leonel, Cereda e Sarmento (2002), degradação dos polímeros, redução da capacidade de cristalização e rompimento das estruturas moleculares.

Um parâmetro importante na análise viscográfica é a viscosidade final. Alguns produtos como sopas, por exemplo, devem ter a viscosidade final baixa, devido ao paladar. Um produto muito consistente pode dificultar

a sua retirada do frasco, ou uma geleia com consistência baixa poderia deixar a torrada umedecida (ALISTE, 2006). Observa-se que a viscosidade final de todas as amostras, também diminuiu com o aumento da dose da radiação.

5.8 Textura

A FIG 21 apresenta hidrogéis utilizados neste estudo preparados com amido de araruta irradiado com doses de 0, 5, 10 e 15 kGy.

FIGURA 21 – Hidrogéis de amido de araruta preparados com amostra controle e irradiada com 15 kGy

A FIG 22 mostra o resultado dos ensaios realizados em triplicata da dureza das amostras de hidrogéis preparados com amido de araruta irradiado com diferentes doses de radiação.

Pela análise estatística ($p < 0,05$), tem diferença entre as médias de forças aplicadas apenas nas amostras 0-5, 0-15 e 5-15 (kGy). O gel de amido irradiado a 15 kGy foi a que apresentou maior dureza, apresentando 2,1N. Os ensaios evidenciaram que com o aumento da dose da radiação aplicada, a dureza do gel também aumenta. O amido nativo (0 kGy), apresentou uma dureza de 1,0 N. Isso se deve à cristalinização da

amilopectina após a retrogradação, pois a dureza do gel está intimamente ligada ao teor de amilose e cadeias mais longas de amilopectina (OLIVEIRA et al., 2009). Após a irradiação, houve um aumento relativo da região cristalina no amido, o que pode ter contribuído para a dureza do gel.

FIGURA 22 – Força máxima em função da dose de radiação no amido de araruta

5.9 Análise Instrumental da cor

Os valores dos parâmetros de cor analisados na pasta do amido de araruta estão apresentados na TAB 8. Ao analisar os dados, verifica-se que com o aumento da dose de radiação, a amostra ficou mais clara, mais verde e mais azul. O índice Chroma diminuiu de modo significativo ($p \leq 0,05$), sendo bem perceptível na dose de 15 kGy, entretanto o ângulo Hue aumentou com a dose absorvida. A diferença total de cor entre a amostra não irradiada e as irradiadas foram: $\Delta E^*_{0,5} = 1,8$; $\Delta E^*_{0,10} = 2,0$; $\Delta E^*_{0,15} = 4,5$, mostrando que com o aumento da dose, hidrogel de amido sofreu uma pequena mudança na cor (TAB 9). Segundo Teixeira (2016), com o aumento da dose da radiação, a intensidade da cor de amidos de milho, mandioca e batata também aumenta.

TABELA 8 – Parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , chroma e ângulo Hue) analisados no gel de amido de araruta irradiado com diferentes doses.

Dose	L^*	a^*	b^*	Chroma	Ângulo Hue
0kGy	$64,5 \pm 5,2^a$	$-0,2 \pm 0,1^a$	$5,0 \pm 0,1^a$	$5,0 \pm 0,1^a$	$92,3 \pm 1,0^a$
5kGy	$63,2 \pm 1,8^a$	$-0,2 \pm 0,3^{a,b}$	$3,7 \pm 1,6^{a,b}$	$3,7 \pm 1,6^{a,b}$	$94,8 \pm 5,6^a$
10kGy	$66,4 \pm 2,7^a$	$-0,6 \pm 0,6^{a,b}$	$4,7 \pm 1,5^a$	$4,8 \pm 1,4^a$	$99,4 \pm 9,8^a$
15kGy	$66,0 \pm 3,6^a$	$-1,1 \pm 0,2^b$	$1,0 \pm 0,4^b$	$1,8 \pm 0,7^b$	$140,4 \pm 15,7^b$

Valores acompanhados por letra minúscula na mesma coluna para cada propriedade diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

TABELA 9 - Comparação numérica da diferença entre cores da amostra do amido nativo e dos amidos irradiados

ΔL^*05	ΔL^*010	ΔL^*015	Δa^*05	Δa^*010	Δa^*015	Δb^*05	Δb^*010	Δb^*015
-1,3	1,9	1,4	0	-0,4	-0,9	-1,28	-0,28	-4,18

6 CONCLUSÃO

Neste estudo foi realizada a caracterização do amido de araruta irradiado com doses de até 15 kGy. A radiação parece ter diminuído o tamanho dos grânulos, pois todas amostras apresentaram diferenças ($p < 0,05$) quando comparadas à amostra controle. Entretanto, os grânulos não apresentaram alterações no formato nem danificações ou porosidades devido à radiação. Pela difração de raios X, observou-se que houve um aumento do índice de cristalinidade, indicando que a radiação degradou principalmente a parte amorfa do amido (fundamentalmente formada por amilose). Em relação a espectroscopia FTIR, as amostras irradiadas apresentaram as mesmas bandas características com pequenas variações na intensidade de bandas, e apenas uma pequena banda na faixa de 2981 cm^{-1} , inexistente na amostra controle. A análise térmica mostrou um aumento na entalpia que é provavelmente devido à degradação da parte amorfa do amido após a irradiação, porém, não houve diferença significativa na perda de massa das amostras irradiadas em comparação com a amostra não irradiada. Quanto às propriedades da pasta, a viscosidade máxima diminuiu com o aumento da radiação, o que indicaria predominância de cisão da cadeia polimérica do amido. Amidos de baixa viscosidade, são de utilidade na indústria como agentes ligantes, por exemplo em goma de mascar. O alto valor de *breakdown* indica a baixa estabilidade do grânulo de amido de araruta, e o baixo valor de *setback* indica uma baixa tendência a retrogradação, importante para alimentos frios e congelados.

Os hidrogéis resultantes dos amidos irradiados obtiveram no ensaio de textura uma dureza maior com o aumento da dose radiação. Quanto a cor dos géis, pela análise instrumental verificou-se que com o aumento da radiação, as amostras ficaram mais claras, mais verdes e mais azuis. A tendência dos hidrogéis ficarem mais claros sugere bom aproveitamento para aplicação em molhos de salada, pudins e na produção de filmes plásticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALISTE, A.J. **Uso de substâncias antioxidantes na resposta à radiação dos hidrocolóides carragenanas, agaranas e alginatos utilizados na indústria alimentícia**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2006.

AMARAL, J. E.; KLEIN, B.; SOUZA, J. M. L.; ZANELLA, V. P.; DIAS, A.R.G. Caracterização do amido de araruta (*Maranta arundinacea*) quanto às propriedades de pastas. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20.; MOSTRA CIENTÍFICA, 3., 2011, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel, 2011. 1 CD-ROM.

ANÔNIMO. O amido e suas propriedades para o setor alimentício. **Food Ingredients**. Brasil Nº 35, p. 41-44, 2015. (http://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201606/2016060302306001466693820.pdf)

APRIANITA, A.; VASILJEVIC, T.; BANNIKOVA, A.; KASAPIS, S. Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. **Journal of Food Science Mysore**, v. 51, n.12, p. 3669-3679, 2014.

BAO, J.; AO, Z.; JANE, J.L. Characterization of physical properties of flour and starch obtained from gamma-irradiated white rice. **Starch/Stärke**, v. 57, n.10, p.480-487, 2005.

BARBOSA, A. P.; COSTA, L. L.; PORTELA, T. G.; MOURA, E. A.; DEL MASTRO, N.L.; SATYANARAYANA, K. G.; MONTEIRO, S. N. **Effect of electron beam irradiation on the mechanical properties of buriti fiber**. *Matéria (UFRJ)* **JCR**, v. 74, p. 1135-1143, 2012.

BERTOFT, E. Understanding Starch Structure: Recent Progress. **Agronomy**, v.7, n.56, p. 1-29, 2017.

BERTUZZI, M. A.; ARMADA, M.; GOTTIFREDI, J. C. Physicochemical characterization of starch-based films. **Journal of Food Engineering**, v.82, p.17-25, 2007.

BHAT, R.; KARIM, A.A. Impact of radiation processing on starch. Comprehensive Reviews. **Food Science and Food Safety**, v. 8, n. 2, p.44-58, 2009.

BITELLI, Thomaz. **Dosimetria e Higiene das Radiações**. São Paulo: Editora do Grêmio Politécnico, 1982.

BLENNOW, A.; HANSEN, M.; SCHULZ, A.; JORGENSEN, K.; DONALD, A.M.; SANDERSON, J. The molecular deposition of transgenically modified starch in the starch granule as imaged by functional microscopy. ***Journal of Structural Biology***, v.143, p. 229–241, 2003.

BOBBIO, F. O.; BOOBIO, P. A. ***Química do processamento de alimentos***. São Paulo: Varela, 1992.

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. ***Resolução nº 21, 26 de janeiro de 2001. Dispõe sobre regulamento técnico para irradiação de alimentos***. Diário Oficial, [da] República Federativa do Brasil, Brasília, D.F, Seção 1, Parte Eletrônica, p.35, 29 jan. 2001.

BULÉON, A., COLONNA, P., PLANCHOT, V., BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis. ***International Journal of Biological Macromolecules***, v. 23, p. 85–112, 1998.

CANEVAROLO Jr, S.V. ***Técnicas de caracterização de polímeros***. Editora Artliber Ltda. São Paulo, 2003.

CEREDA, M.P.; FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.B.; LEONEL, M.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. ***Propriedades gerais do amido***. Campinas: Fundação Cargill, 2001, v.1., 221p.

CHEETHAM, N.W.H.; TAO, L. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study. ***Carbohydrate Polymers***, 36, pp. 277-284, 1998.

Chroma Meter CR-410. ***Instruction Manual***. Konica Minolta. On line em: https://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction_manual/color/pdf/cr-400-410_instruction_eng.pdf. Acessado em (18/03/2018).

CHUNG, H.J.; LIU, Q. Effect of gamma irradiation on molecular structure and physicochemical properties of corn starch. ***Journal of Food Science***, Chicago, v. 74, n.75, p.353-361, 2009.

CROSBIE, B. G.; ROSS, S.A. ***The RVA Handbook***. Oregon: AACC Internacional, 2009.

CUNHA, A. L. ***Caracterização do amido da araruta tipos seta e redonda, visando utilização na indústria de alimentos***. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2016.

DAIUTO, E. R. ***Características de féculas de tuberosas e suas relações com resistência dos géis sob condições de estresse aplicada na industrialização de alimentos***. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio De Mesquita Filho”, São Paulo, 2005.

DAR, M. Z.; DEEPIKA, K.; JAN, K.; SWER, T. L.; KUMAR, P.; VERMA, R.; VERMA, K.; PRAKASH, K. S.; JAN, S.; BASHIR, K. Modification of structure and physicochemical properties of buckwheat and oat starch by γ -irradiation. ***International Journal of Biological Macromolecules***, v. 108, 1348–1356, 2018.

DENARDIN, C.C., SILVA, L.P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. ***Ciência Rural***, v. 39, n.3, p.945-954, 2009.

ELIASSEN, A.C. ***Starch in food – Structure, function and applications***. New York: Boca Raton, CRC, 2004.

ELIASSEN, A.-C.; KARLSSON, R. Gelatinization Properties of Different Size Classes of Wheat Starch Granules Measured with Differential Scanning Calorimetry. ***Starch/Starke***, v.35, p.130-133, 1983.

ERDMAN, M. D. ERDMAN, B.A. Arrowroot (*Maranta Arundinacea*), food, feed, fuel, and fiber resource. ***Economic Botanic***, v.38, p.332-341, 1984.

ERDMAN, M. D. Starch from arrowroot (*Maranta arundinacea*) grown at Tifton, Georgia. ***American Association of Cereal Chemists***, v. 63, n. 3, p. 277 – 279, 1986.

FERREIRA, A. B. H. ***Novo Dicionário da Língua Portuguesa***. Segunda edição. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.

FERRARI, B.T.; LEONEL, M.; SARMENTO, S.B.S. Characteristics of the rhizomes and starch of arrowroot (*Maranta arundinacea*) harvested at different stages of development. ***Brazilian Journal of Food Technology***, v.8, n.2, p.93-98, 2005.

FRANCO, C. M. L.; CIACCO C. F. Factors that affect the enzymatic degradation of natural starch granules. Effect of size of the granules. ***Starch/Stärke***, v. 44, n. 11, p. 422-426, 1992.

FRANCO, C. M. L.; CIACCO C. F.; TAVARES, D. Q. The structure of waxy corn starch: Effect of granule size. ***Starch/Stärke***, v. 50, n. 5, p. 193-198, 1998.

GARCIA, A.C. Eduardo. ***Biofísica***. Sarvier. São Paulo, 2002.

GORDILLO, C.A.S.; VALENCIA, G.A.; ZAPATA, R.A.V.; HENAO, A.C.A. Physicochemical Characterization of Arrowroot Starch (*Maranta arundinacea* Linn) and Glycerol/Arrowroot Starch Membranes. ***International Journal of Food Engineering***, v. 10, n. 4, p. 727-735, 2014.

HERNANDEZ-MEDINA, M.; TORRUCO-UCO, J.G.; CHEL-GUERRERO, L.; BETANCUR-ANCONA, D. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 718-726, 2008.

INAMURA, P. Y.; UEHARA, V. B. ; TEIXEIRA, C.A.H.M.; MASTRO, N. L. Mediate gamma radiation effects on some packaged food itens. **Radiation Physics and Chemistry** (1993) **JCR**, v. 81, p. <http://dx.doi.o>, 2012.

INAMURA, P.Y.; KRAIDE, F.H.; DRUMOND, W.S.; LIMA, N.B.; MOURA, E.A.B.; MASTRO, N.L. Ionizing radiation influence on the morphological and thermal characteristics of a biocomposite prepared with gelatin and Brazil nut wastes as fiber source. **Radiation Physics and Chemistry** (1993) **JCR**, v. 84, p. 66-69, 2013.

INAMURA, P.Y.; SHIMAZAKI, K.; COLOMBO, M.A.; ROSA, R.; MOURA, E.A.B.; MASTRO, N.L.d. Effect of electron beam irradiation on mechanical properties of gelatin/Brazil nut shell fiber composites. **Matéria**, v.15, n.2, p.380-385, 2010.

IONASHIRO, M; GIOLITO, I. A nomenclatura em análise térmica parte II. **Cerâmica**, São Paulo, v.34, n.225, p.163-164, 1988.

ITO, V.C.; BET, C.D.; WOJEICCHOWSKI, J.P.; DEMIATE, I.M.; SPOTO, M.H.F.; SCHNITZLER, E.; LACERDA, L.G. Effects of gamma radiation on the thermoanalytical, structural and pasting properties of black rice (*Oryza sativa* L.) flour. **Thermal Analysis Calorimetry**, v.133, p.529–537, 2018.

JANE, J.L.; SHEN, J.J. Internal structure of the potato starch granule revealed by chemical gelatinization. **Carbohydrate Research**, v.247, p.279-290, 1993.

JYOTHI, A. N.; SAJEEV, M. S.; SREEKUMAR, J. N. Hydrothermal Modifications of Tropical Tuber Starches. 1. Effect of Heat-Moisture Treatment on the Physicochemical, Rheological and Gelatinization Characteristics. **Starch/ Stärke**, n. 62, p. 28 – 40, 2010.

LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. **Carbohidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.3, p. 579-588, 2007.

LEONEL, M; CEREDA, MP. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Processamento de araruta (*Maranta arundinacea*) para extração e caracterização da fração amilácea. ***Brazilian Journal of Food Technology***, Campinas, v. 5, n. 93, p. 151-155, 2002.

LIMA, B.N.B.; CABRAL, T.B.; NETO, R.P.C.; TAVARES, M.I.B. Estudo do Amido de Farinhas Comerciais Comestíveis. ***Polímeros***, v. 22, n. 5, p. 486-490, 2012.

MÀRIN, M.L.R; SANTIAGO, C.N.; WANG, Y.J.; PÉREZ, L.A.B. Physicochemical and structural characteristics of cross-linked banana starch using three cross-linking reagents. ***Starch/Starke***, v. 62, p. 530-537, 2010.

MASTRO, N.L d. Vitamin E and Ionizing Radiation. ***Chemical Engineering Methods and Technology***. Nova Science Publishers, Inc. New York, 47p. ISBN: 978-1-61761-191-9., 2010.

MASTRO, N.L.d. A radiação ionizante na promoção da alimentação adequada e saudável. ***Vigilância sanitária em debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia***, v. 3, p. 114-121, 2015.

MASTRO, N.L.d. Role of irradiation treatment in the food industry. ***International J. Nuclear Governance, Economy and Ecology***, v. 3, p. 266-274, 2011.

MASTRO, N. L. DEL; MATTIOLO, S.R. ***Electron beam irradiation effects on some packaged dried food items***. SM/EB-07. In: International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators, 4-8 May 2009, Vienna, Proceedings of ...IAEA, 2010.

NARA, S.; KOMIVA, T. Studied on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. ***Starch/Stärke***, v.35, p.407-410, 1983.

NEWPORT SCIENTIFIC. ***Instruction Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyzer***. Newport Scientific Pty. Ltd., Australia, 1998.

NOOR, N.; SHAH, A.; GANI, A.; GANI, A.; MASSODI, F. A. Microencapsulation of caffeine loaded in polysaccharide based delivery systems. ***Food Hydrocolloids***, v. 82, 312-321, 2018.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia. ***Estudos avançados***, v. 27, n.77, p. 185-199, 2013.

OLIVEIRA, D.C. ***Caracterização e potencial tecnológico de amidos de diferentes cultivares de mandioca (manihot esculenta crantz)***. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

OLIVEIRA, T.M.; PIROZI, M.R.; BORGES, J.T.S.; GERMANI, R.; FONTES, M.P.F. Caracterização do amido de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). **B. CEPPA**, v. 27, n. 1, p. 27-42, 2009.

PENG, M. et al. Separation and Characterization of A- and B- Type Starch Granules in Wheat Endosperm. **Cereal Chemistry**, v.76, p.375-379, 1999.

PEPE, S.L. **Impacto do tratamento térmico com baixa umidade sobre as características físico-químicas e reológicas de amidos de mandioca, araruta e mandioquinha-salsa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus São José do Rio Preto, São Paulo, 2011.

PEPE, S. L.; MORAES J.; ALBANO, K.M.; TÉLIS, V.RN.; FRANCO, C. ML. Effect of heat-moisture treatment on the structural, physicochemical. **Food Science and Technology International**. Departamento de Engenharia de Alimentos e Tecnologia, v. 22, n.3, p.256-265, 2015.

PERONI, F. H. G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2003.

PERONI, F.H.G.; ROCHA, T.S.; FRANCO, C.M.L. Some structural and physicochemical characteristics of tuber and root starches. **Food Science and Technology International**. v.12, n. 6, p. 505–513, 2006.

QUIROGA, A. L. B. Amidos. **Food Ingredients Brasil**, n. 35, p. 31-56, 2015.

RADUNZ, M.; MADRUGA, K. M.; SANTETTI, G. S.; VILLANOVA, F. A.; COLUSSI, R.; DIAS, A. R. G. **Propriedades mecânicas e de cor de filmes elaborados de amido de arroz nativo e acetilado**. Associação Brasileira de Pós Colheita, Londrina, Paraná. Anais (online) Disponível em: http://eventos.abrapos.org.br/anais/paperfile/110_20142111_02-11-36_7409.pdf - Acessado em (10/03/2018).

RIBEIRO, A. P. L. **Estudos dos amidos de mandioca nativo modificados e modificados combinados por via química para utilização na indústria alimentícia**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, 2011.

RODRIGUES, L. B. O. **Estudos reológicos e de textura dos géis de amido de araruta (*Maranta arundinacea* L.) e dos géis adicionados de sacarose e concentrado protéico de soro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências de Alimentos, Área de Concentração em Engenharia de Processos de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB. Bahia, 2014.

SÁ, C.R.L.; SILVA, E.O.; TERAQ, D.; OSTER, A.H. Efeito do KMnO₄ e 1-MCP com atmosfera modificada na conservação pós-colheita de melão Cantaloupe. **Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 01, p. 60-69, 2008.

SANDHU, K. S.; SINGH, N. Some properties of corn starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. **Food Chemistry**, Oxford, v. 101, n. 4, p. 1499-1507, 2007.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R. Resistant starch: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 5, n. 1, p. 1-16, 2006.

SILVA, G. de O.; TAKIZAWA, F.F.; PEDROSO, R.A.; FRANCO, C.M.L.; LEONEL, M.; SARMENTO, S.B.S.; DEMIATE, I.M. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.1, p.188-197, 2006.

SILVA, M.H. **Efeitos da radiação gama do Cobalto-60 em sementes de café arábica e conillon: avaliação físico-química**. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2012.

SILVA, R.M.; FERREIRA, G.F.; SHIRAI, M.A.; SCHERER, M.L.; FRANCO, C.M.L.; DEMIATE, I.M. Características físico-químicas de amidos modificados com permanganato de potássio/ácido láctico e hipoclorito de sódio/ácido láctico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 28, n.1, p.66-77, 2008.

SILVERSTEIN, R.M; WEBSTER, F.X.; KIEMLE, D.J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, N. S.; GILL, B.S. Morphological, thermal and reological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, London, v. 81, n. 2, p. 219-231, 2003.

SOULAKA, A. B.; MORRISON, W. R. The amylose and lipid contents, dimensions, and gelatinization characteristics of some wheat starches and their A- and B- granule fractions. **Journal of Science Food and Agriculture**. v. 36, p.709-718, 1985.

SOUZA, A.S. **Efeitos da irradiação na composição e propriedades funcionais da soja**. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos Processos de Gelatinização e Extrusão de Amido de Milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 24-30, 2000.

SRIAMORNSAK, P.; JUTTULAPA, M.; PIRIYAPRASARTH, S. Microwave-Assisted Modification of Arrowroot Starch for Pharmaceutical Matrix Tablets. ***Functionalized and Sensing Materials***, v. 93-94, p. 358-361, 2010.

SRICHUWONG, S.; SUNARTI, T.C.; MISHIMA, T.; ISONO, N.; HISAMATSU, M. Starches from different botanical sources II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. ***Carbohydrate Polymers***, v.62, p.25-34, 2005.

STUART, B.H. ***Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications***. John Wiley & Sons, Ltd. Sydney, Australia, 2004.

TAIPINA, M.S.; LAMARDO, L.C.; RODAS, M.A.B.; MASTRO, N.L. D. Stability of vitamin E content of gamma-irradiated powder milk. ***International Journal of Nutrology***, v.3, p. 8-10, 2010.

TEIXIERA, C.A.H.M.; UEHARA, V.B.; INAMURA, P.Y.; MASTRO, N.L.D; Gamma radiation influence on technological characteristics of wheat flour. ***Radiation Physics and Chemistry***, v.81, p.1160-1162, 2012.

TEIXIERA, B.S; GARCIA, R.H.L.; INAMURA, P.Y.; MASTRO, N.L.D; Comparison of gamma radiation effects on natural corn and potato starches and modified cassava starch. ***Radiation Physics and Chemistry***, v.142, p.44-49, 2018.

TEIXEIRA, B. S. ***Características de amidos processados pela radiação ionizante***. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2016.

TESTER, R.F. et al. Starch – Composition, fine structure and architecture. ***Journal of Cereal Science***, v.39, p.151-165, 2004.

VALENCIA, G. A., HENAO, A. C. A., ZAPATA, R. A. V. Comparative study and characterization of starches isolated from unconventional tuber sources. ***Journal Polymer Engineering***, v.32, p.531-537, 2012.

VALENCIA, G. A.; MORAES, I. C. F.; LOURENÇO, R. V.; BITTANTE, A. M. Q. B; SOBRAL, P. J. A. Physicochemical Properties of Maranta (*Maranta arundinacea* L.) Starch. ***International Journal of Food Properties***, v. 18, p.1990–2001, 2015.

VAN SOEST, J. J. G.; VLIEGENTHART, J. F. G. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. ***Trends in Biotechnology***, v.15, p.208-213, 1997.

VIEIRA, S; SOUZA, V. C. Four new species of Maranta L. (Marantaceae) from Brazil. ***Botanical Journal of the Linnean Society***, v.158, p.131–139, 2008.

WANG, X.; REDDY, C. K.; XU, B. A systematic comparative study on morphological, crystallinity, pasting, thermal and functional characteristics of starches resources utilized in China. **Food Chemistry**, v. 259, p. 81–88, 2018.

WENDLANDT, W. W. **Thermal analysis**. New York: J. Wiley, 1986. 814 p.

WHO/FAO. **Carbohydrates in human nutrition**. Rome: FAO, 1998, (FAO food and nutrition paper no. 66).

YONEMOTO, P. G. **Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo**. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2006.

ZAVAREZE, E.R.; PEREIRA, J.M.; MOURA, F.A.; SPIER, F.; HELBIG, E.; DIAS, A.R.G. Teor de amido resistente e perfil de textura de amidos de arroz com diferentes níveis de amilose modificados hidrotermicamente. **Brazilian Journal of Food Technology**, p. 96-101, III SSA novembro, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone/Fax(0XX11) 3133-8908
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://www.ipen.br>

**O IPEN é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento, associada
à Universidade de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela
Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão do
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.**