

Avaliação do preparo de amidos modificados por Espectroscopia Fotoacústica

Daniele Toniolo Dias (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Ponta Grossa)

danieletoniolodias@gmail.com

Andressa Novatski (Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG) anovatski2@gmail.com

João Batista Sarmento dos Santos Neto (Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS)

joao.sarmiento@ufms.br

Nabi Assad Filho (Universidade Estadual do Paraná - Unespar, Câmpus Campo Mourão)

nabiassadfilho@hotmail.com

Tânia Maria Coelho (Universidade Estadual do Paraná - Unespar, Câmpus Campo Mourão)

coelho.tania@ymail.com

Resumo:

Nas indústrias há sempre a busca por substâncias que possam realçar ou modificar as características desejadas no produto e ao mesmo tempo preservar as que pretendem ser mantidas. O amido tem sido uma ótima alternativa para suprir estas necessidades. Por outro lado, a indústria de alimentos tem buscado novos ingredientes que possam melhorar a qualidade de seus produtos e diminuir custos de produção e/ou aumentar os lucros sem perda da qualidade. Por estes motivos, há um interesse crescente da indústria alimentícia nos amidos modificados. Considerando-se o custo dos amidos modificados, é importante empregar metodologias eficientes na caracterização destes amidos a fim de avaliar o grau de modificação e correspondente aplicação dos produtos finais. Neste artigo realizou-se a caracterização por espectroscopia fotoacústica de amido de mandioca nativo modificado cuja finalidade da modificação foi produzir características funcionais diferentes do amido de origem. Os resultados espectroscópicos auxiliaram na comprovação de que as modificações realizadas no amido foram satisfatórias. O produto final pode ser usado industrialmente sem restrições alimentares em aplicações como: agente ligante; ou otimizador de viscosidade; ou espessantes.

Palavras chave: fécula de mandioca, interligado, pré-gelatinizado, oxidado, dextrina.

Evaluation of the modified starches process by Photoacoustic Spectroscopy

Abstract

In industries, there is always the search for substances that can enhance or modify the characteristics desired in the product and at the same time preserve those that want to be maintained. Starch has been a great alternative to meet these needs. On the other hand, the food industry has been looking for new ingredients that can improve the quality of its products and decrease production costs and / or increase profits without loss of quality. For these reasons, there is growing interest of the food industry in modified starches. Considering the cost of the modified starches, it is important to employ efficient methodologies in the characterization of these starches in order to evaluate the degree of modification and corresponding application of the final products. In this paper, the characterization was performed by photoacoustic spectroscopy of modified native cassava starch whose purpose of the modification was to produce functional characteristics different from the original starch. The spectroscopic results aided in proving that the modifications performed on the starch were satisfactory. The final product can be

used industrially without food restrictions in applications such as binding agent; or viscosity optimizer; or thickeners.

Key-words: cassava stalk, interconnected, pregelatinized, oxidized, dextrin

1. Introdução

O amido nativo é um pó obtido a partir de plantas que contêm amido. Este carboidrato é perfeitamente adequado a uma grande variedade de aplicações onde suas propriedades permanecem insubstituíveis. Principalmente na indústria alimentícia, o amido é usado para ligar ou desintegrar; expandir ou engrossar; para produzir diferentes texturas; reter umidade ou inibi-la; clarear ou tornar opaco; estabilizar emulsões ou formar filmes resistentes ao óleo. Em aplicações não alimentares as indústrias se beneficiam do amido como auxiliar em processos, na composição de medicamentos; embalagens e tecidos, bem como na lubrificação ou equilíbrio do teor de umidade. As propriedades dos amidos são bem conhecidas, no entanto o conhecimento continua a progredir na compreensão das bases físico-químicas de sua aplicação. Neste contexto, o mercado de amidos necessita melhorar o desempenho do amido e responder às exigências da indústria e às necessidades dos clientes, buscando produtos com características específicas. Com o objetivo de superar uma ou mais limitações dos amidos nativos, e assim, aumentar a utilidade deste polímero nas aplicações industriais tornou-se uma alternativa a produção de amidos modificados (SILVA et al., 2006). Segundo Bemiller (1997), as finalidades da modificação de amidos são: aumentar as transparências de pastas e géis, reduzir a tendência de gelificação das pastas, diminuir a retrogradação, melhorar as texturas das pastas e géis relacionados às suas propriedades coloidais e modificar as características de cozimento.

Os amidos modificados são obtidos a partir de amidos nativos como resultado de métodos de processamento físico, enzimático ou químico. As técnicas químicas principais são a interligação e a oxidação. As modificações físicas são, basicamente, a pré-gelatinização e o tratamento com calor. O amido nativo possui carga aniônica (carga negativa), a qual impossibilita sua aderência na molécula de celulose, pois ambas possuem a mesma carga, ocasionando a não floculação do sistema. No caso dos amidos interligados catiônicos, a modificação se dá alterado a carga e a estrutura das moléculas de amido, aderindo a ela um carga positiva, visando atingir maior eficiência na floculação das soluções. No processo de oxidação grupos funcionais carboxila e carbonila podem ser introduzidos nas cadeias de amido a partir da oxidação dos grupos hidroxilas (SILVA et al., 2016). O amido oxidado apresenta baixa viscosidade, alta estabilidade e claridade das pastas de amido (DIAS et al., 2007). A modificação por oxidação é gerada pela reação do amido com quantidade específica de reagente em pH e temperatura controladas (KUAKPETOON, WANG, 2001). No processo de pré-gelatinização, uma solução de amido é depositada sobre um cilindro aquecido. O amido cozido é assim secado deixando uma taxa de umidade residual. O amido é então moído, peneirado e acondicionado. Com a gelatinização, o amido torna-se mais facilmente acessível à ação das enzimas digestivas. Amidos produzidos com tratamento térmico mantêm suas propriedades de cozimento quando são gelatinizados e, já que não houve nenhum produto químico envolvido no processo, continuam sendo considerados como nativos e chamados simplesmente de amido. São processos cuidadosamente controlados que podem envolver degradação parcial por meio do calor em um mecanismo de conversão que envolve processos de hidrólise, reorganização de moléculas e repolimerização, originando as chamadas dextrinas (FERREIRA, 2009).

A espectroscopia fotoacústica (PAS) (ROSENCWAIG, 1980) é uma técnica eficaz quando aplicada como metodologia na melhoria de produtos e processos porque: permite estudos sobre materiais não homogêneos; é não-destrutiva; e requer uma preparação mínima da amostra.

Como o sinal PA depende da quantidade de luz absorvida, os efeitos da luz dispersa não são relevantes. Neste contexto, a PAS é uma ferramenta de otimização que pode ser usada como analisador de alimentos. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), por exemplo, conta em sua instrumentação com um Laboratório de Fotoacústica e Fototérmica que possui espectrômetro fotoacústico para estudos e monitoramentos de problemas agrícolas. Nesta empresa de inovação, a qualidade de alimentos é testada pela detecção do teor de açúcar: em frutas; em cana de açúcar; e outros; e pela detecção de impurezas, provenientes de fraudes, determinando o grau de misturas com outros produtos de mais baixo teor alimentar e/ou econômico (MARTINS e MELO, 2014). Esta última sendo aplicada tanto em alimentos sólidos, tal como leite em pó misturado com farinha, quanto em líquidos tais como leite, óleo em água, e outros. Em instituições de ensino, a PAS também tem sido aplicada com sucesso na otimização de produtos e processos alimentares (MANGOLIM et al., 2014; COELHO et al., 2010) e afins (DIAS, 2014). Recentemente, Mangolim et al. (2014) sugeriram potenciais economias e viabilidade da utilização da curcumina complexada com beta-ciclodextrina (β -CD) na indústria de alimentos por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR), FT-Raman e PAS. Coelho et al. (2010) provaram que a PAS é confiável quando aplicada ao estudo de corantes alimentares e que também pode ser usada para a determinação simultânea de baixa concentração de tartazina e azul brilhante em misturas. Dias (2014) utilizou a PAS como ferramenta na avaliação da qualidade de materiais de partida na fabricação de papel e revelou à indústria Klabin do Paraná S/A o produto adequado na confecção do produto final.

Portanto, este artigo tem por objetivo mostrar que a espectroscopia fotoacústica pode ser utilizada na caracterização e monitoramento de amidos modificados para sugerir o grau de modificação, e um ponto ótimo de fabricação correspondente à sua funcionalidade e possível redução de custos.

2. Aspectos experimentais

2.1 Materiais

A fécula foi a matéria prima utilizada na modificação do amido de mandioca. Os tipos de modificação estudadas foram: interligação e interligação catiônica; pré-gelatinização; oxidação; e tratamento térmico. A seguir são apresentadas as amostras interligadas e oxidadas.

Os reagentes utilizados na modificação do amido nativo em amido interligado e interligado catiônico foram: o sulfato de sódio (Na_2SO_4); o hidróxido de sódio (NaOH); o reagente 1-Cloro-2,3-epóxiopropano (Epicloridina); o cloreto de 3-cloro-2-hidroxipropil-trimetilamônio (Quab 188); e o ácido Clorídrico (HCl). A fécula (1 kg) foi misturada com 1 litro de água. Como o pH ótimo de reação da epicloridina e do quab 188 se encontra entre 11 e 12, estabilizou-se o sistema com pH de 11,2 com o auxílio de agentes como sulfato de sódio (Na_2SO_4), hidróxido de sódio (NaOH) e ácido Clorídrico (HCl), utilizando um pHmetro. A Tabela 1 mostra a quantidade do reagente epicloridina e o tempo de aquecimento em banho maria para a modificação do amido nativo em amido interligado. Para a segunda modificação em interligado catiônico duas amostras foram separadas e adicionadas a quantidade de 30 ml de Quab e 25 ml de NaOH . O pH (ver Tabela 1) foi observado e ajustado, uma vez que um pH não adequado interfere diretamente na reação dos reagentes.

Para a modificação do amido nativo por oxidação foram realizados três diferentes processos em meio alcalino. A base era uma mistura de 2/3 de água sendo o diferencial em cada processo o tipo de material acrescentado à matéria prima, conforme a Tabela 1.

Tipo de modificação	Código	Epicloridina (%)	Tempo (h)	Ph
Interligado	EP-2	1	24	≈2
Interligado catiônico	EP-3	0,01	2	≈3
Interligado catiônico	EP-5	0,01	2	≈5
Tipo de modificação	Código	Material acrescentado a matéria prima		
	AO1	3 kg de fécula		
oxidação	AO2	0,25 kg de fécula úmida e 2,75 kg de amido		
	AO3	3 kg de fécula e 1 ml de α -amilase		

Fonte: Próprio Autor

Tabela 1 – Amostras de amido de mandioca modificadas

2.2 Espectroscopia Fotoacústica

O efeito fotoacústico é obtido em uma célula que é constituída por um recipiente de alumínio hermeticamente fechado, preenchido por um gás (ar), no qual existe uma janela de vidro que permite a entrada de luz. Um feixe de luz modulada atinge a amostra e por um processo de desexcitação não radiativo, a radiação absorvida é transformada em energia térmica.

A Figura 1 mostra a montagem experimental utilizada para obtenção dos espectros de absorção óptica. Uma lâmpada de arco de Xenônio de 1000 W (Oriel 68820) é utilizada como fonte de radiação. A luz emitida é então colimada na fenda de entrada de um monocromador de varredura (Oriel 77250) e é difratada em um comprimento de onda (λ) selecionado por meio de grades para a região: ultravioleta/visível (UV/VIS), infravermelho próximo (NIR- *near infrared*), IR médio (*mid-IR*) e IR longo (*long-IR*). Os comprimentos de onda difratados passam por uma fenda de 3.000 μm de largura. Ordens superiores de difração são eliminadas através de filtros óticos especiais. A luz monocromática é modulada por um *chopper* (Stanford SR 540) gerando o sinal de referência que é fornecido ao canal do pré-amplificador (EGG 5110). A luz colimada e modulada é focada por meio de duas lentes de quartzo. O feixe de luz é dirigido para célula fotoacústica passando por uma janela de quartzo. O corpo da célula fotoacústica tem acoplado um microfone capacitivo altamente sensível (Brüel e Kjaer BK 4166). O sinal fotoacústico é coletado pelo microfone e enviado para o pré-amplificador. Através de um microcomputador, que controla toda instrumentação, os espectros de interesse, são obtidos automaticamente. O espectro fotoacústico é normalizado pelo espectro de emissão da lâmpada.

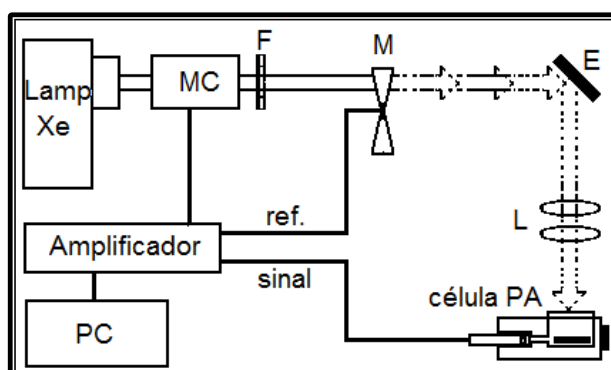


Figura 1: Espectrômetro fotoacústico: MC - monocromador; F - filtro para ordem superior de difração; M - modulador; E - espelho; L - lentes; PC - computador para aquisição de dados

Os experimentos foram realizados usando frequência de modulação de 21 Hz e potência da luz em 800 W, em quatro regiões espectrais: UV/VIS ($\lambda=180$ a 800 nm), NIR ($\lambda= 800$ a 1600 nm),

mid-IR ($\lambda = 1600$ a 3200 nm) e *long*-IR ($\lambda = 3200$ a 4000 nm).

3. Resultados e discussões

3.1 Fécula de mandioca

A Figura 2 mostra os espectros de absorção para a fécula de mandioca na região do UV/VIS (Figura 2a), do NIR (Figura 2b) e *mid*- e *long* IR (Figura 2c). A Figura 2 (a) mostra uma banda de absorção a aproximadamente 230 nm geralmente referida como uma estrutura de dieno (ALMEIDA e KAWANO, 1997). Este cromóforo pode ser produzido por um radical de polimerização ou durante uma mudança de reação. As Figuras 2 (b) e 2 (c) mostram aproximadamente nove, cinco e quatro bandas de absorção para o NIR, *mid*- e *long*- IR, respectivamente.

Na forma não modificada, o amido tem uso limitado na indústria alimentícia. A modificação do amido pode aumentar ou inibir suas características originais. A avaliação do grau de modificação pode ser realizada por comparação dos espectros de referência da fécula (matéria prima), observados na Figura 2, com os espectros de absorção dos amidos modificados.

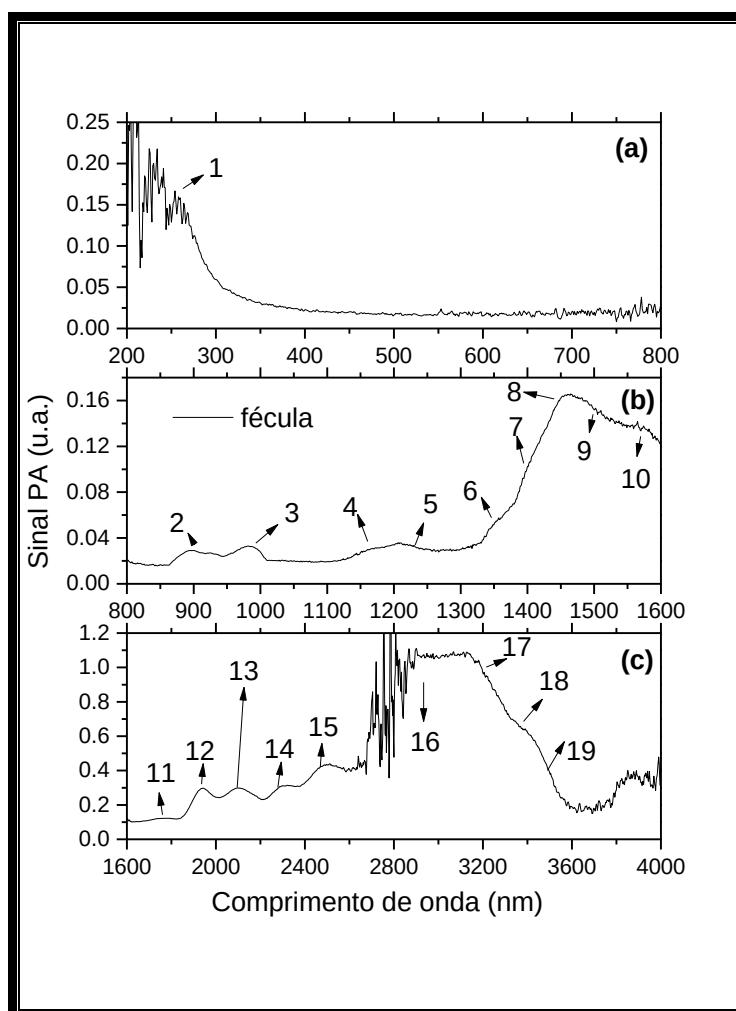


Figura 2: Espectro PA para fécula não modificada em: (a) UV/VIS; (b) NIR; e (c) *mid*- e *long*- IR

Para a avaliação do grau de modificação dos amidos, os picos foram listados e categorizados como mostrado na Tabela 2, em que as bandas de *overtone*s referem-se aos harmônicos das bandas que são repetidas em determinados comprimentos de onda.

Conforme a Tabela 2, a hidratação da amostra pode ser avaliada pela intensidade dos picos de absorção 3; 7; 8; 10; 12; e 16. Estas absorções devem corresponder às vibrações de estiramento O-H, que ocorrem em grupos CH₂-OH, C-OH e em hidroxilas envolvidas em ligações de hidrogênio de diferentes intensidades, formadas entre as moléculas de água.

Pico	Comprimento de Onda		Descrição
	nm	cm ⁻¹	
1	230	43478	Estrutura de dieno
A	273	36630	Grupo carbonila, derivada de grupo radical
B	400	2500	Banda B, de Soret
2	878	11390	3° overtone v(CH ₂)
3	988	10120	2° overtone v(OH)
4	1189	8410	2° overtone v(CH ₂)
5	1250	8000	2° overtone característico de grupo -CH ₂ - e CH ₃ -
6	1340	7460	Combinação de grupos metileno terminal.
7	1400	7142	OH livre, primeiro overtone.
8	1450-1490	6896 - 6711	Banda OH, 1° overtone, superposto ao 3° overtone
8	1450	6896	3° overtone v(C=O)
9	1500	6667	1° overtone v(NH)
10	1540	6495	1° overtone v(OH)
10	1570	636933	1° overtone v(CONH), (estiramento NH)
11	1760	5681	1° overtone, característico de grupo-CH ₂ -
12	1800-1920	5555-5208	Combinação, OH livre
12	1932	5176	2° overtone v(C=O)
12	1940	5154	OH livre, 2° overtone
13	2050	4878	N-H/Amido II (CONH) ou N-H/Amido III (CONH ₂) ou combinação entre eles
13	2055	4866	Ligação N-H/Combinação amido I (Proteína)
13	2141	4670	v(CO)+ v(CH ₂)
14	2240	4464	Combinação vch+ característica de grupos -CH ₃
15	2466	4055	3° overtone δ(CC)
16	2747-2770	3640-3610	OH livre, fundamental
16	2778-3125	3600-3200	OH, combinação
17	2857-3257	3500-3070	NH e NH ₂ , livre e combinação
18	3030	3300	CH de alcinos
18	3247-3311	3080-3020	CH de alcenos
18	3300	3030	CH de aromáticos
19	3378-3509	2960-2850	CH alifáticos
19	3546 e 3676	2820 e 2720	CH de aldeídos

Fonte: Adaptado de Lopes (2016); Almeida e Kawano (1997); Vagnini (2009)

Tabela 2 – Classificação das bandas de absorção

3.2 Amidos interligado e interligados catiônico

A Figura 3 mostra os espectros de absorção para os amidos interligado e interligados catiônico

para a região do UV/VIS (Figura 3a), do NIR (Figura 3b) e *mid-* e *long* IR (Figura 3c). Os espectros de absorção da Figura 3 mostram a semelhança entre os amidos modificados e a fécula comum e isto ocorre devido ao mínimo grau de modificação destes materiais. A Figura 3 (a) para o UV/VIS mostra que a principal modificação nestes amidos é o alargamento da banda de absorção do pico 1, referente a estrutura de dieno. Consequentemente ocorre a diminuição de bandas de absorção referentes a grupos CH₂, NH e CH (picos 4; 5; 6; 14; 17-19), conforme mostram as Figuras 3 (b) e 3(c), sugerindo que a modificação ocorre somente na agregação das moléculas, ou seja, as moléculas se interligam. Nos espectros de absorção NIR (Figura 3b), observa-se também a diminuição das bandas de absorção referentes as hidroxilas livre, também conhecida como “água livre” (DIAS et al., 2017), conferindo um menor grau de hidratação aos amidos interligados. Neste caso, a amostra que mostrou menor intensidade de “água livre” foi o amido catiônico EP-3, e possivelmente apresentará aumento de viscosidade. O amido interligado catiônico pode ser usado em diferentes aplicações industriais em que seja necessária uma estabilidade de viscosidade, característica presente neste amido em função da hidrólise que ocorre na modificação.

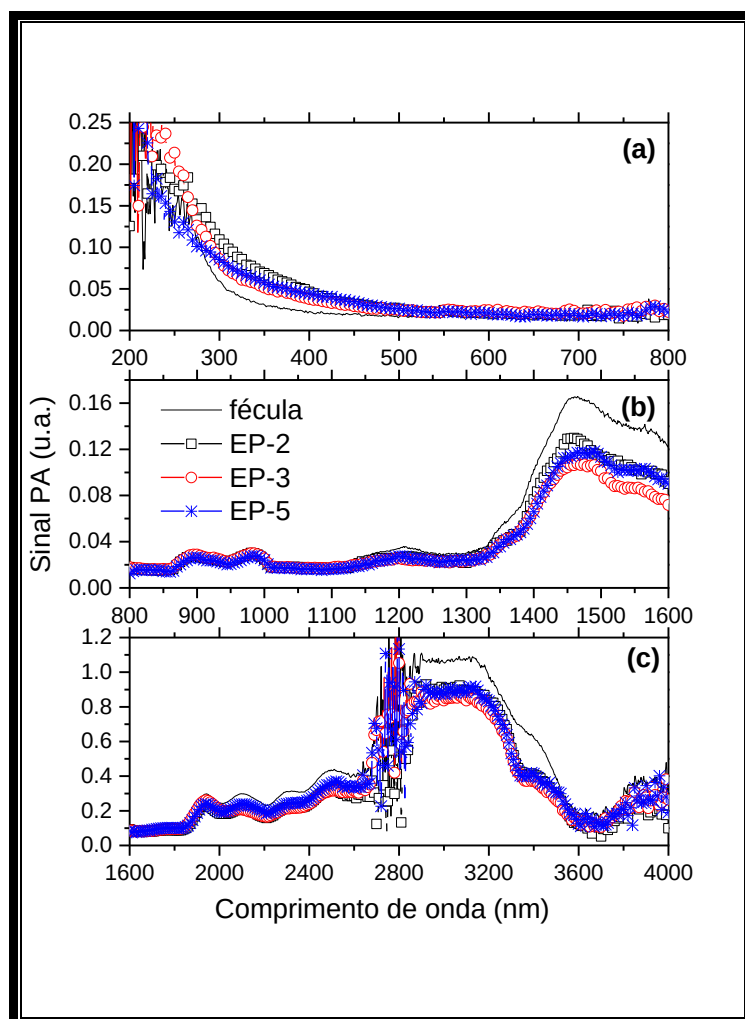


Figura 3: Espectro PA para os amidos interligados: (a) UV/VIS; (b) NIR; e (c) *mid-* e *long*- IR

3.3 Amido pré-gelatinizado

A Figura 4 mostra os espectros de absorção na região do UV/VIS (Figura 4a), do NIR (Figura 4b) e *mid-* e *long* IR (Figura 4c) para um amido pré-gelatinizado. Na modificação por pré-gelatinização o amido rompe os grânulos formando a goma, e posteriormente é seco e

padronizado. Novamente, há semelhança entre a matéria prima e o amido pré-gelatinizado. As Figuras 4 (a-c) também mostram um grande alargamento da banda de absorção do pico 1 e o desaparecimento do pico 2 (CH_2) e diminuição de bandas de absorção referentes aos picos 4; 5; 6; 14; 17-19. O grau de modificação de interesse neste amido é percebido pela facilidade de absorver água, verificado pela não diminuição dos picos 7; 8; e 10. Consequentemente sugere-se que este material apresente viscosidade reduzida, o que é desejável no processamento de alimentos que contenham alto teor de sólidos. Os amidos pré-gelatinizados podem ser utilizados na produção de massas e condimentos, como espessantes: em sopas e macarrão instantâneo; em caldo de carne desidratado; e outros molhos.

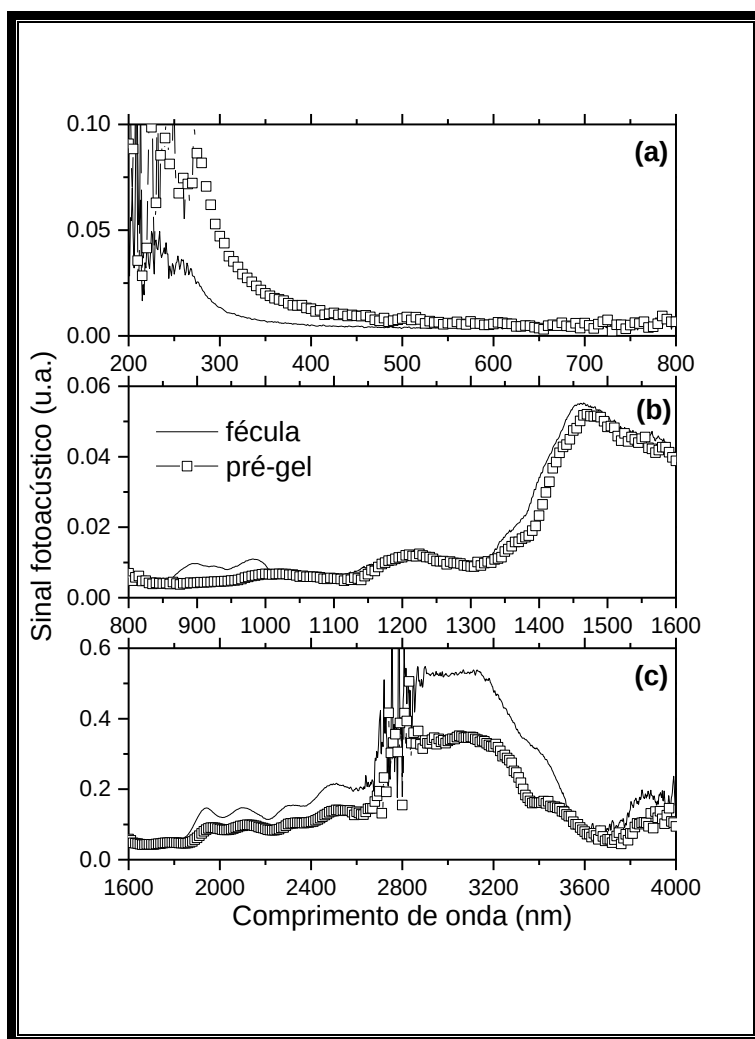


Figura 4: Espectro PA para o amido pré-gelatinizado em: (a) UV/VIS; (b) NIR; e (c) *mid*- e *long*- IR

3.4 Amidos oxidados

A Figura 5 mostra os espectros de absorção na região do UV/VIS (Figura 5a), do NIR (Figura 5b) e *mid*- e *long* IR (Figura 5c) para os amidos oxidados. Os espectros UV/VIS da Figura 5 (a) revelam além do aumento e alargamento da banda referente a estrutura de dieno, a presença de grupamentos carbonila (pico A em Tabela 2). Os grupamentos carbonila não existem no amido nativo e podem representar grupamentos carboxila ácidos presentes nos amidos oxidados. O número de grupos carbonila e carboxila indicam o grau de oxidação do amido. A Figura 5 (a) mostra que as amostras AO1 e AO2 apresentaram maior intensidade do sinal PA para os grupamentos carbonila. A reação de oxidação do amido é acompanhada de quebra de ligações

glicosídicas, com parcial despolimerização do amido o que explica o alto grau de modificação observado entre os amidos oxidados e a matéria prima (fécula). As amostras AO1 e AO2 também apresentaram um pico de absorção na chamada banda B ou banda de Soret, catalogada na Tabela 2, que ocorre por volta de 400 nm, indicando a presença de carotenoides (ZERAIAK e YARIWAKE, 2008). Na amostra AO3 não se observa a banda B, provavelmente devido a α -amilase que quebra as cadeias de amido e facilita a fermentação. Outro grau de modificação dos amidos oxidados é o aumento de “água livre” para a amostra AO2 (ver Figura 5b) e diminuição de intensidade desta banda de absorção para as amostras AO1 e AO3. O comportamento variável da banda de absorção de OH pode ser explicado pelo fato de que na reação de oxidação alguns grupos hidroxilas das moléculas de amido são primeiramente oxidados a grupos carbonila e, posteriormente, a grupos carboxila. Portanto, a diminuição desta banda de absorção sugere sua participação na reação de oxidação das amostras, melhorando as propriedades dispersantes. A baixa viscosidade funciona como um agente ligante em gomas de mascar. A indústria alimentícia ao melhorar a viscosidade do material pode usar amidos oxidados na produção de sobremesas de gelatina.

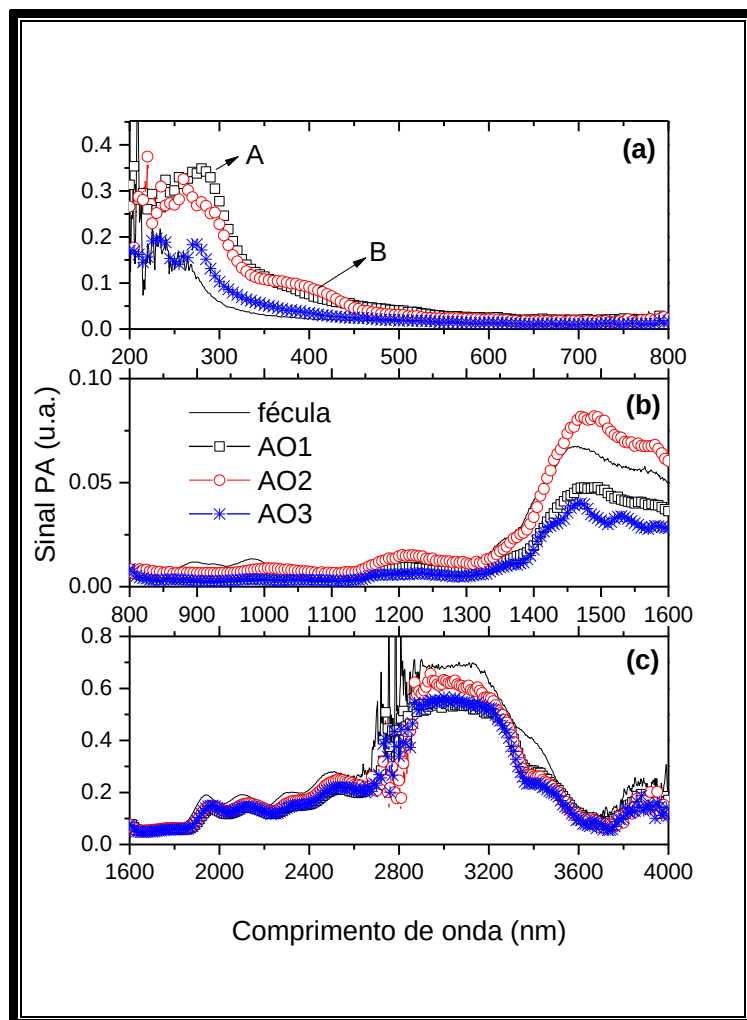


Figura 5: Espectro PA para amidos oxidados em: (a) UV/VIS; (b) NIR; e (c) *mid- e long- IR*

3.5 Dextrina

A matéria prima também foi modificada por hidrólise enzimática em tratamento térmico (180 °C) por um período de 2 h para quebra da molécula por calor e produção de dextrina. A

amostra de dextrina, assim como os amidos oxidados, apresenta o aparecimento das bandas de absorção A e B no espectro fotoacústico UV/VIS (Figura 6a). Entretanto, há um aumento das bandas de absorção referente a “água livre” (Figura 6b) e dos grupamentos presentes no *mid*- e *long*- IR (Figura 6c). Neste sentido, a semelhança dos espectros de absorção da dextrina com os amidos oxidados pode ter ocorrido em função do calor e acidez do sistema (H^+) na produção da dextrina, enquanto no amido oxidado ocorre a despolimerização parcial em função do oxigênio nascente ($O^{\cdot}$). Devido a sua atoxidade a dextrina pode ser amplamente usada na indústria alimentícia em diversas aplicações. Com alto grau de hidratação e baixa viscosidade a dextrina funciona como agente espessante e não interfere no sabor do produto final.

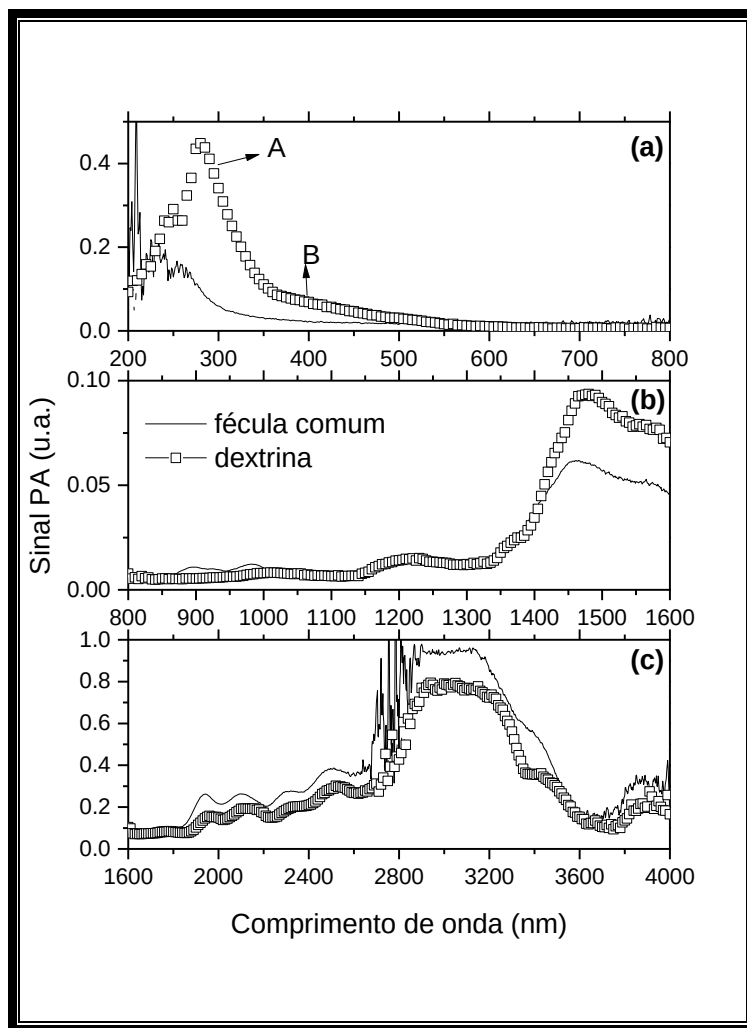


Figura 6: Espectro PA para dextrina em: (a) UV/VIS; (b) NIR; e (c) *mid*- e *long*- IR

4. Conclusão

A espectroscopia fotoacústica pode ser usada como ferramenta de melhoria do grau de modificação de amido nativo de mandioca modificado. Os espectros fotoacústicos dos amidos modificados foram comparados aos da matéria prima (fécula de mandioca) e revelaram semelhanças para os amidos modificados por interligação e pré-gelatinização. Por outro lado, os amidos modificados por oxidação e dextrina produzida por hidrólise apresentaram alto grau de modificação. Destaque para a apresentação de uma banda de Soret referente a carotenoides, ausente no amido nativo. As diferentes aplicações destes materiais podem ser sugeridas a partir da intensidade da banda de absorção referente as hidroxilas. Portanto, pode-se elaborar uma

metodologia fotoacústica para caracterização da qualidade destes alimentos e consequentemente viabilizar a redução de custos no preparo dos mesmos.

Referências

- ALMEIDA, S.H.; KAWANO, Y.** *Ultra Violet – Visible Spectra of Nafion Membran..* European Polymers Journal. Vol. 33, n.8, p.1307-1311, 1997.
- BEMILLER, J.N.** *Starch Modification: Challenges and Prospects.* Starch/Stärke. Vol. 49, n.4, p.31-127, 1997.
- COELHO, T.M.; VIDOTTI, E.C.; ROLLEMBERG, M.C.E.; MEDINA, A.N.; BAESSO, M.L.; CELLA, N.; BENTO, A.C.** *Photoacoustic Spectroscopy as a tool for Determination of Food Dyes: Comparison with First Derivative Spectrophotometry.* Talanta. Vol. 81, p.202-207, 2010.
- DIAS, A.R.G.; ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M.; HELBIG, E.** *Oxidação dos Amidos de Mandioca e de Milho Comum Fermentados: Desenvolvimento da Propriedade de Expansão.* Ciência e Tecnologia de Alimentos. Vol. 27, n.4, p.794-799, 2007.
- DIAS, D.T.** *Análise de defeitos Residuais em Papel Comercial por meio de Espectroscopia Fotoacústica.* Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada. Vol. 1, n.2, p.1-9, 2014.
- DIAS, D.T.; LOPES, G.; FERREIRA, T.; OLIVEIRA, I.L.; ROSA, C.D.** *Thermo-Optical Properties of Perfluorinated Sulfonic Acid Membrane na Investigation of Hydration Based on Absorption Spectra.* Applied Spectroscopy, artigo aceito em 2017 para publicação, publicado express, aguarda impressão.
- FERREIRA, V.F.; ROCHA, D.R.** *Pontecialidades e Oportunidades na Química da Sacarose e outros Açúcares.* Química Nova. Vol. 32, n.3, p.623-638, 2009.
- KUAKPETOON, D.; WANG, Y.J.** *Characterization of Different Starches Oxidized by Hypochlorite.* Starch/Stärke. Vol. 53, p.211-218, 2001.
- LOPES, G.; DIAS, D. T.; SOUZA, J.S.; ROSA, D. T.** *Spectroscopic Study of Nafion® Membrane as a Function of Water Content by Phase-Resolved Photoacoustic Method.* Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada. Vol. 3, n. 1, p.1-17, 2016.
- MANGOLIM, C.S.; MORIWAKI, C.; NOGUEIRA, A.C.; SATO, F.; BAESSO, M.L.; NETO, A.N.; MATIOLI, G.** *Curcumin- β -Cyclodextrin Inclusion Complex: Stability, Solubility, Characterization by FT-IR, FT-Raman, X-ray Diffraction and Photoacoustic Spectroscopy, and Food Application.* Food Chemistry. Vol. 153, p.361-370, 2014.
- MARTINS, D. R.; MELO, W. L. B.** *Uso da técnica fotoacústica para caracterizar grãos de cafés quanto a qualidade e conservação - uma metodologia.* In: Anais do Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária – SIAGRO 2014. São Carlos, São Paulo: Embrapa Instrumentação, p. 489-492, 2014.
- ROSENCWAIG, A.** *Photoacoustic and Photoacoustic Spectroscopy.* New York: John Wiley & Sons, 1980.
- SILVA, G.O.; TAKIZAWA, 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. Vol. 26, n.1, p.188-197, 2006.
- SILVA, P.L.; GOMES, A.M.M.; RICARDO, N.M.P.S.; MACHADO, T.F.** *Elaboração e Caracterização de Blendas de Amido Fosforilado com Quitosana e PVA.* Química Nova. Vol. 39, n.4, p.450-455, 2016.
- VAGNINI, M.; MILIANI, C.; CARTECHINI, L.; ROCCHI, P.; BRUNETTI, B.G.; SQAMELLOTTI, A.** *FT-NIR Spectroscopy for Non-Invasive Identification of Natural Polymers and Resins in Easel Painting.* Analytical and Bioanalytical Chemistry. Vol. 395, n.7, p.2107-2118, 2009.
- ZERAIK, M.L.; YARIWAKE, J.H.** *Extração de β -caroteno de Cenouras: uma Proposta para Disciplinas Experimentais de Química.* Química Nova. Vol. 31, n.5, p.1259-1262, 2008.