

Artigo

Espectroscopia no Infravermelho FT-IR e Difratomia de Raios X Aplicada no Acompanhamento do Processo de Polimerização do Óleo de Andiroba

Nascimento Filho, W. B.;* Silva, H. E. B.; Sousa, R. C. P.; Souza, O. S.

Rev. Virtual Quim., 2019, 11 (3), 922-936. Data de publicação na Web: 12 de junho de 2019

<http://rvq.sbq.org.br>

Infrared Spectroscopy FT-IR and X-Ray Difractometry Applied in the Follow-Up of the Polymerization Process of Andiroba Oil

Abstract: The objective of this work was to characterize the biopolymer obtained from Andiroba oil (*Carapa guianensis* Aublet) by heating in the presence of oxygen without any additional treatment, by FTIR infrared absorption spectroscopy and X Ray diffraction. Infrared spectra showed changes in the absorption bands at 1300 to 1000 cm^{-1} for d(CO), 1712 at 1745 cm^{-1} (C=O), and disappearance of the absorption band at 721 cm^{-1} assigned to out-of-plane deformations of groups ds/t (C-H) and at 3005 cm^{-1} for the axial deformation band of n (H-C=), it being possible that these changes are due to the progressive increase in the degree of polymerization of the oil due to increased cross-links and systematic decrease of the double bonds. Through the diffractogram of the polymer obtained by X-Ray diffraction, it was possible to characterize it as an amorphous solid, a characteristic state of polymeric materials under the experimental conditions used.

Keywords: Oxypolymerization; infrared spectroscopy FT-IR; biopolymers; X-ray diffractometry.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o biopolímero obtido a partir do óleo de Andiroba (*Carapa guianensis* Aublet) por aquecimento na presença de oxigênio, sem qualquer tratamento adicional, por espectroscopia de absorção no infravermelho FTIR e difração de raios X. Espectros de infravermelho mostraram mudanças nas bandas de absorção de 1300 a 1000 cm^{-1} para d(CO), 1712 a 1745 cm^{-1} (C=O), e desaparecimento da banda de absorção em 721 cm^{-1} , deformações planas dos grupos ds/t (C-H) e a 3005 cm^{-1} para a banda de deformação axial de n (H-C=), sendo possível que estas alterações sejam devidas ao aumento progressivo do grau de polimerização do óleo devido ao aumento de ligações cruzadas e diminuição sistemática das ligações duplas. Através do difratograma do polímero obtido, foi possível caracterizá-lo como um sólido amorfo, um estado característico dos materiais poliméricos sob as condições experimentais utilizadas.

Palavras-chave: Oxipolimerização; espectroscopia no Infravermelho FT-IR; biopolímeros; difratometria de raios X.

* Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Química, Av. Capitão Ene Garcez, 2413, CEP 69304-000, Boa Vista-RR, Brasil

✉ wilson_botelho@hotmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20190064](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190064)

Espectroscopia no Infravermelho FT-IR e Difractometria de Raios X Aplicada no Acompanhamento do Processo de Polimerização do Óleo de Andiroba

Wilson B. do Nascimento Filho,^{a,*} Henrique E. Bezerra da Silva,^b Rita de Cássia Pompeu de Sousa,^c Oliveira Santos de Souza^a

^a Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Química, CEP 69304-000, Boa Vista-RO, Brasil.

^b Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de Química, Departamento de Química, CEP 59078-970, Natal-RN, Brasil.

^c Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, CEP 69301-970, Boa Vista-RO, Brasil.

* wilson_botelho@hotmail.com

Recebido em 29 de novembro de 2018. Aceito para publicação em 3 de maio de 2019

1. Introdução

1.1. Modificações em óleos vegetais submetidos a aquecimento em altas temperaturas

2. Materiais e Métodos

2.1. Obtenção das amostras

2.2. Extração do óleo das sementes de Andiroba

2.3. Processo de oxipolimerização

2.4. Análise por difração de Raios X

3. Resultados e Discussão

3.1. Rendimento do óleo de Andiroba

3.2. Caracterização do óleo por espectroscopia FT-IR

3.3. Polimerização do óleo de Andiroba

3.4. Caracterização do polímero por Difractometria de Raios X – XRD

3.5. Características aparente do polímero formado

4. Considerações Finais

1. Introdução

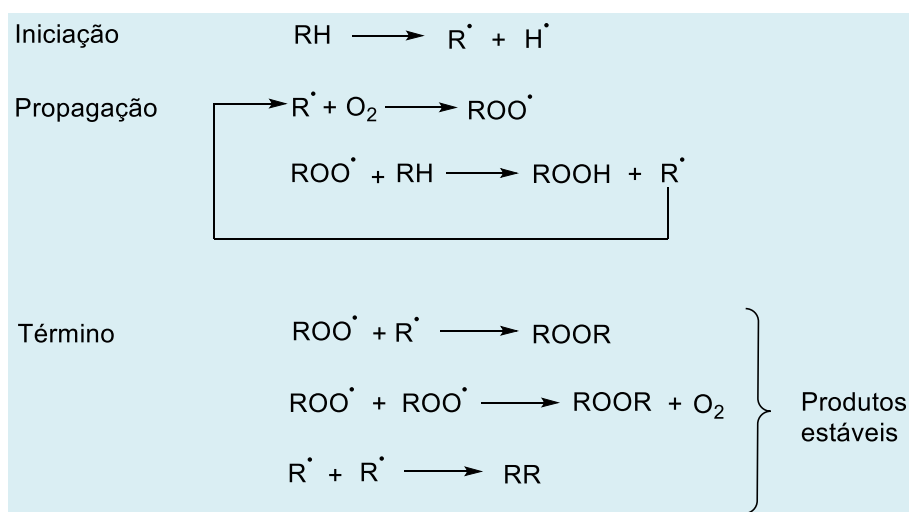
O mercado de polímeros por sua diversidade de aplicações e pela crescente demanda nos diversos setores industriais como o automotivo, construção civil, produção de equipamentos elétricos e

A formação dos monômeros (resíduos não-voláteis) provêm do processo de oxidação dos óleos e os mais comuns derivam de cadeias de ácidos graxos com dezoito carbonos, poliinsaturados, que ciclizam e sofrem uma dupla substituição no anel, sendo mais pronunciada nos aquecimentos intermitentes dos óleos vegetais.¹⁸ O mecanismo proposto para formação destes monômeros é via reação de Diels-Alder, que com uma alta concentração de ácido linolênico sob aquecimento prolongado, sofre ciclização,¹⁴ resultante do ataque de radicais livres as duplas ligações, que atuam como um catalizador no processo de oxidação dos óleos.^{19,20}

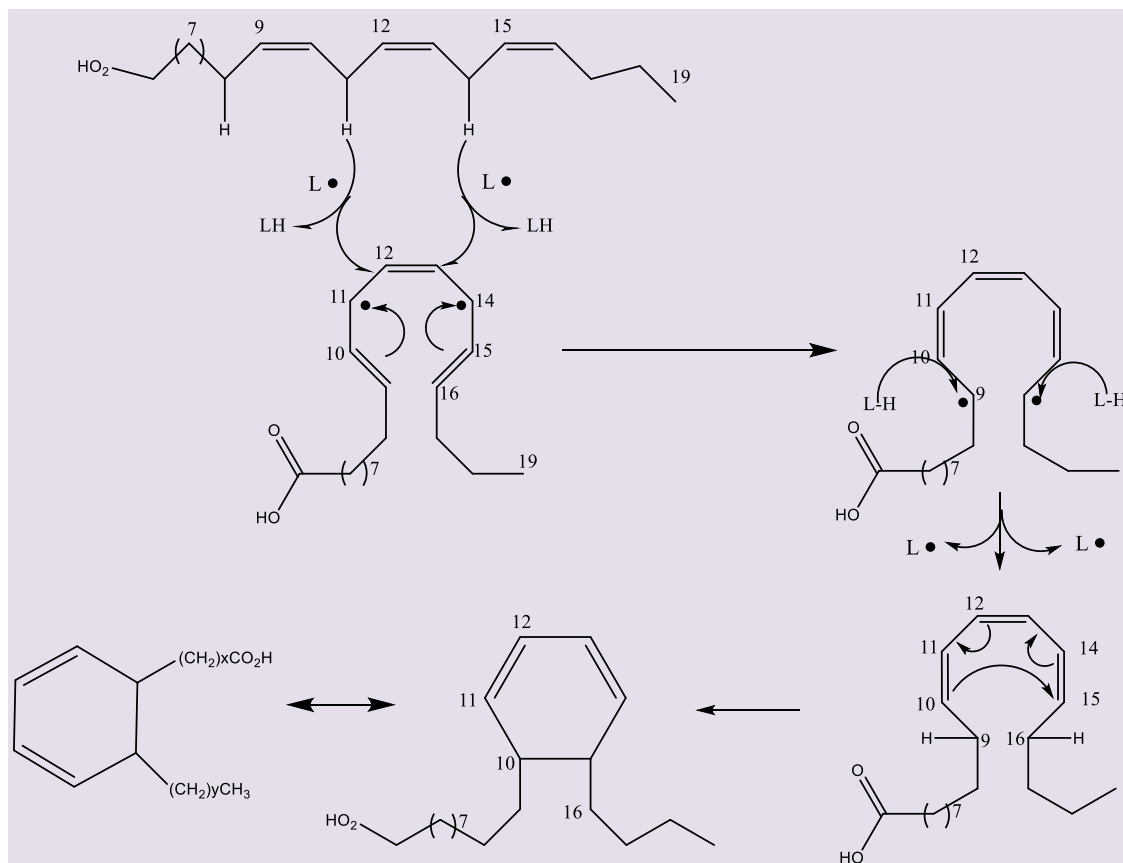
Pelo exposto, esquemas 1, 2 e 3, os óleos vegetais que apresentam um alto grau de insaturação, podem gerar plásticos com altas propriedades mecânicas quando submetidos a um processo de polimerização e serem

utilizados pelo mercado sem grandes investimentos em seu processo de fabricação, podendo estes materiais poliméricos competir por igual com polímeros já estabelecidos comercialmente.⁸

A andiroba (*Carapa guianensis* Aublet) é uma espécie que apresenta grande potencial de exploração não madeireira na Amazônia por causa de seu óleo que é extraído de suas sementes, sendo composto basicamente pelos ácidos graxos mirístico, palmítico, esteárico, oleico (C19), linoléico (C18) e linolênico (C18), Figura 1, apresentando um alto grau de insaturação e destacando-se entre os óleos tradicionais do norte do país,^{21,22} o qual apresenta propriedades anti-sépticas, antiinflamatórias, cicatrizantes e emolientes o que o torna muito requisitado pelas indústrias cosméticas e farmacêuticas. Sua coloração é amarelada, possuindo sabor amargo e em temperaturas inferiores a 25 °C se solidifica, sendo impróprio para consumo.²³



Esquema 2. Mecanismo da oxidação lipídica. RH: Ácido graxo insaturado; R●: Radical livre; ROO●: Radical peróxido; ROOH: Radical hidroperóxido¹³



Esquema 3. Mecanismo de formação de um monômero cíclico de ácido linolênico. (L-H) ácido graxo, (L•) radical de ácido graxo¹

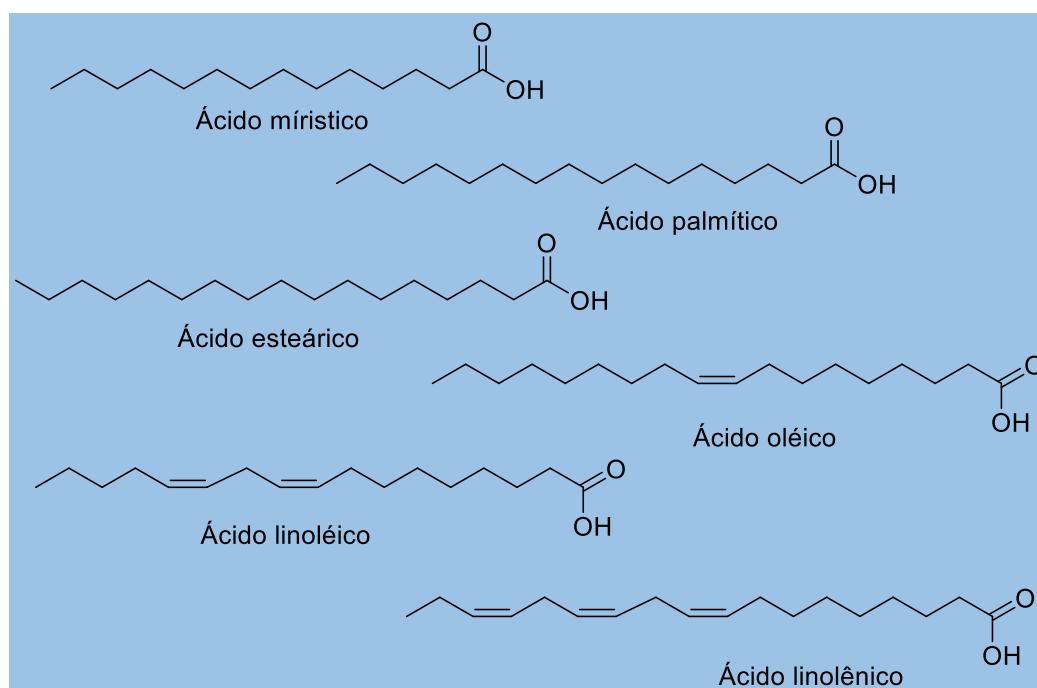


Figura 1. Estruturas dos ácidos graxos mirístico, palmítico, esteárico, oléico Ω 9, linoléico Ω 6 e linolênico Ω 3²⁴

Pertencente à família da Meliaceae, sua distribuição ocorre pela América Central, Antilhas, África Tropical e por todo norte da América do sul. No Brasil sua localização se encontra em toda bacia amazônica, principalmente em regiões de várzeas e áreas alagáveis.²⁵ Entretanto, o óleo obtido de suas sementes é um produto com pouco valor agregado, devido principalmente à carência de investimentos e tecnologia no seu processo de beneficiamento, apesar de ser muito procurado para uso cosmético e medicinal.²⁶

A espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) é uma das ferramentas mais comuns para identificação e transformação de compostos orgânicos, todas as espécies moleculares absorvem radiação IR,²⁷ sendo para o químico moderno uma das técnicas analíticas mais importantes por abranger em uma de suas áreas de aplicação o estudo da caracterização de materiais poliméricos,^{28,29} ao mesmo tempo que é uma técnica não destrutiva, sendo possível utilizá-la no controle e acompanhamento de reações.³⁰

Já a difratometria de raios X (XRD) é uma das principais técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos, tem sua aplicação em diversos campos do conhecimento como as engenharias, ciências de materiais, química, geociências entre outros.³¹ A difração é um fenômeno resultante da interferência de feixes de raios X por uma família de planos cristalinos,³² sendo comumente utilizada para determinar a cristalinidade de polímeros,³³ por ser uma técnica capaz de identificar diversos estados de ordenamento da matéria. Aliada às eventuais irregularidades que restringem o surgimento de ordem tridimensional com o tamanho de suas moléculas, a XRD caracteriza os materiais poliméricos por não conseguirem obter a formação de cristais.³² Diante do exposto, faz-se necessário o estudo deste óleo a fim de conduzir novos processos experimentais que possam beneficiar sua aplicação em outros setores tecnológicos.

Neste sentido, conduziu-se este trabalho com o objetivo de caracterizar o polímero derivado do óleo de Andiroba (*Carapa guianensis* Aublet.) por espectrometria de absorção no infravermelho FT-IR e difração de raios X.

2. Materiais e Métodos

2.1. Obtenção das amostras

As amostras de sementes de Andiroba (*Carapa guianensis* Aublet) foram coletadas em parceria com a Embrapa-RR no campo experimental localizado no município do Cantá, Vila Confiança, período seco. Após a coleta, no laboratório de Resíduos da empresa, as mesmas foram postas a secagem em estufa com circulação de ar a uma temperatura de 60 ± 5 °C por um período de 30 dias. Após a secagem foram processadas em processador ARNO e passaram por um processo de tamisação onde se obteve uma granulometria de 20 mesh.

2.2. Extração do óleo das sementes de Andiroba

Para extração utilizou-se como solvente o hexano, o qual foi aquecido até atingir a sua temperatura de ebulição e em seguida condensasse, de tal forma que a amostra pudesse ficar em contato direto com o solvente por aproximadamente 3 horas, em um sistema soxhlet de extração. Após este período a mistura contendo óleo-hexano foi filtrada, em seguida passou por um processo de separação por evaporação, em um rotaevaporador a vácuo, onde o solvente utilizado para a extração foi recuperado.³⁴ Finalmente o óleo foi pesado para o cálculo de seu rendimento. Para este cálculo utilizou-se a equação 1:

$$\% \text{ Óleo} = (\text{MO}/\text{MA}) \times 100 \quad (1)$$

MO: massa do óleo (g);

MA: massa da amostra (g);

2.3. Processo de oxipolimerização

Setenta mililitros (70 mL) de óleo foram acondicionados em um frasco de vidro refratário com 12 cm de diâmetro, aquecidos em anel de cerâmica refratária, com resistência exposta, numa temperatura de aquecimento que variou entre 180 e 200 °C,

controlado por termômetro (Figura 2). O tempo de aquecimento foi de oito horas diárias, por sete dias, em atmosfera de ar ambiente, com um intervalo de resfriamento nunca inferior a 10 horas, entre um aquecimento e outro. Nenhum composto adicional foi colocado no óleo durante o experimento. Todo o experimento foi repetido e confirmado. Para cada período de aquecimento (0, 8, 16, 24, 32, 40, 48 e 56 horas) coletou-se uma fração para ser analisada posteriormente no infravermelho (FT-IR 8400s shimadzu).⁸

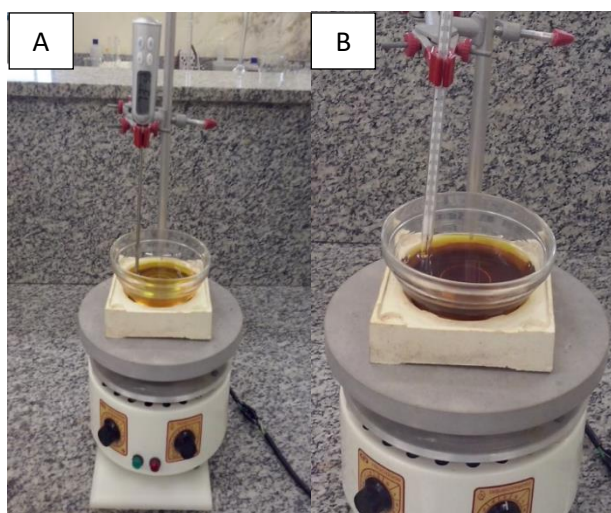


Figura 2. (A) Sistema montado com termômetro digital, chapa de aquecimento, frasco de vidro com 12 cm de diâmetro em anel de cerâmica refratária, (B) óleo com 8 horas de aquecimento

2.4. Análise por difração de Raios X

O polímero resultante do aquecimento do óleo (56 horas) foi analisado em um Difratorômetro de Raios X Shimadzu, modelo XRD – 5000, para análise da cristalinidade.

3. Resultados e Discussão

3.1. Rendimento do óleo de Andiroba

O óleo de andiroba extraído com solvente hexano apresentou coloração amarelo claro e o rendimento da extração está apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Rendimento do óleo de andiroba extraído com hexano

Extrações	Rendimento do óleo (%)	Rendimento médio (%)
1	61,78	60,59 ± 2,94
	62,77	
	57,24	
2	55,49	58,00 ± 2,18
	59,51	
	58,97	
3	59,14	61,29 ± 2,00
	63,10	
	61,30	

A extração por soxhlet ou química se dá através da utilização de um solvente que age solubilizando o óleo que está contido nas amostras. Com a utilização do solvente há um completo desengorduramento do material, produzindo um resíduo que contém menos de 1 % de óleo, independente do teor inicial do material a ser utilizado para extração³⁵. O teor de óleo obtido neste trabalho se encontra em uma faixa de 58,00 a 61,29 %, enquanto Farias (2012)²² 62,25 % utilizando o mesmo método e solvente para extração.

3.2. Caracterização do óleo por espectroscopia FT-IR

Na Figura 3 está apresentado o espectro de absorção de FT-IR obtido do óleo de Andiroba antes do aquecimento. Nesta, observa-se as principais bandas características de triglicerídeos, como uma banda de baixa intensidade atribuída a região de deformação em 721 cm⁻¹, referente ao -C-H, uma banda de

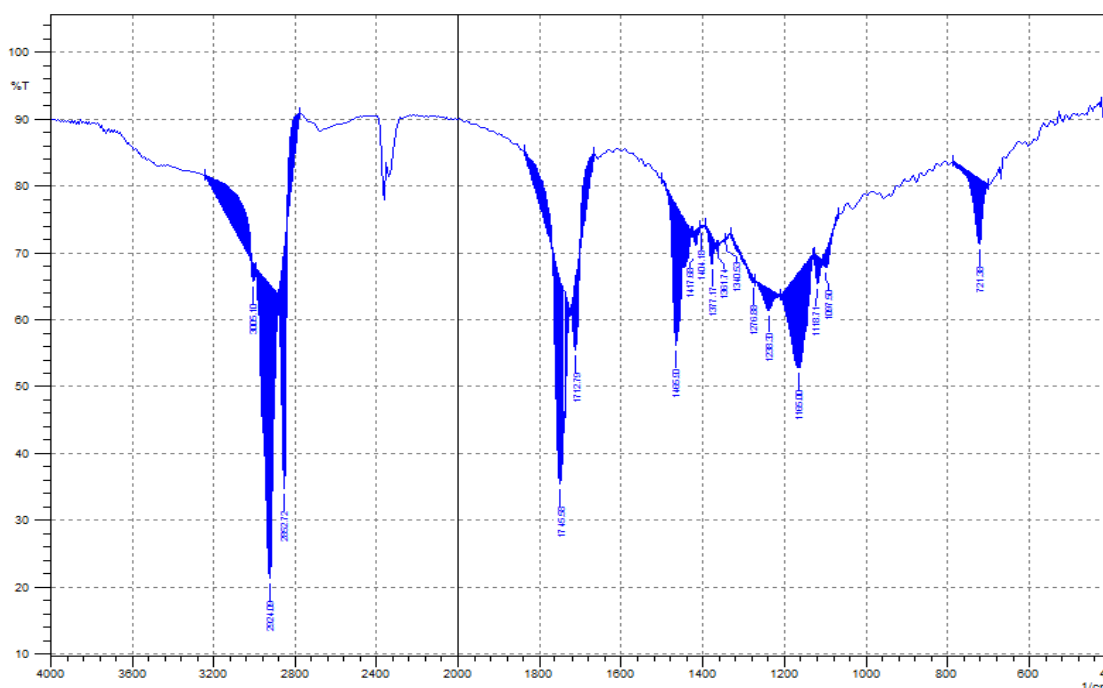
intensidade média característica de deformação axial em 1165 cm⁻¹ atribuída ao grupo funcional -C-O, várias bandas de absorção entre 1377 a 1417 cm⁻¹ atribuídas a deformação angular no plano referente ao -CH₃, em 1465 cm⁻¹, banda de deformação angular de média intensidade atribuída ao grupo metileno =CH₂, bandas intensas na região de estiramento em 1712 e 1745 cm⁻¹ referentes ao grupo funcional -C=O presente em triglicerídeos e na região entre 2852 a 3005 cm⁻¹ apresenta bandas finas com deformação angular do plano assimétrico do =CH₂, 2852 cm⁻¹, estiramentos dos grupos -C-H₃, 2924 cm⁻¹ e 3005 cm⁻¹ referente ao grupo =C-H.

Na Tabela 2 estão apresentadas as bandas de absorção obtidas na análise de infravermelho do óleo de Andiroba sem aquecimento. Estas se assemelham muito aos valores obtidos em outros estudos com óleos vegetais, como o de soja,³⁶ canola,³⁷ andiroba,³⁸ e buriti.³⁹

Tabela 2. Atribuições das bandas de absorção obtidas através da análise de infravermelho no óleo de Andiroba sem aquecimento

Número de onda cm^{-1}	Modo vibracional / Grupo funcional
721	δ_s/τ : CH
1165,00	δ : C-O
1377 – 1417	δ : CH_3
1465	δ_s : $=\text{CH}_2$
1712 – 1745	ν : C=O
2852	δ_{as} : $=\text{C-H}_2$
2924	ν : C- H_3
3005	ν : H-C=

ν - Deformação Axial; s - simétrica, as - assimétrica, δ - deformação angular no plano, τ - deformação angular assimétrica fora do plano

**Figura 3.** Espectro de absorção do óleo de Andiroba na região do infravermelho sem aquecimento

3.3. Polimerização do óleo de Andiroba

O processo de oxipolimerização se dá através do chamado estresse térmico sofrido por óleos quando submetidos por períodos prolongados em uma faixa de temperatura

entre 40 a 200 °C na presença de O_2 como agente oxidante, apresentando períodos de resfriamento.¹⁷ Quando analisados separadamente cada espectro de absorção, Figuras 1S-7S (material suplementar), nos fornece mudanças pouco perceptíveis em suas bandas, tal processo pode ser

devidamente observado na Figura 4, onde os espectros de absorção de cada período de aquecimento foram sobrepostos.

Na Figura 4, bem como no material suplementar pode se notar algumas bandas intensas que se estendem entre 2331 a 2358 cm^{-1} , as mesmas são atribuídas a presença de CO_2 no momento da análise. A Tabela 3 apresenta as alterações sofridas nas bandas de absorção para o óleo de Andiroba em função dos tempos de aquecimento.

Observa-se que com a progressão do processo de aquecimento do óleo, Figura 4, as bandas atribuídas aos grupos -C-H em 721 cm^{-1} , -CH_3 em 1417 a 1377 cm^{-1} , em 3005 cm^{-1} atribuída ao grupo

H-C= com configuração sp^2 e em 1712 cm^{-1} região atribuída ao -C=O desapareceram e em

1745 cm^{-1} teve uma diminuição de seus valores. No espectro de IV este fenômeno se manifesta com a diminuição da intensidade das bandas nestas regiões. Este mesmo fenômeno já foi observado em trabalhos realizados com o óleo de tungue¹², sendo possível que estas alterações estejam relacionadas com o aumento progressivo do grau de polimerização do óleo devido ao surgimento de ligações cruzadas em função da diminuição sistemática das duplas ligações.⁸ Tais fenômenos podem ser observados nos trabalhos de Reda e Carneiro (2006)⁸ para o óleo de soja e Li e Larock (2003)¹² para o óleo de tungue.

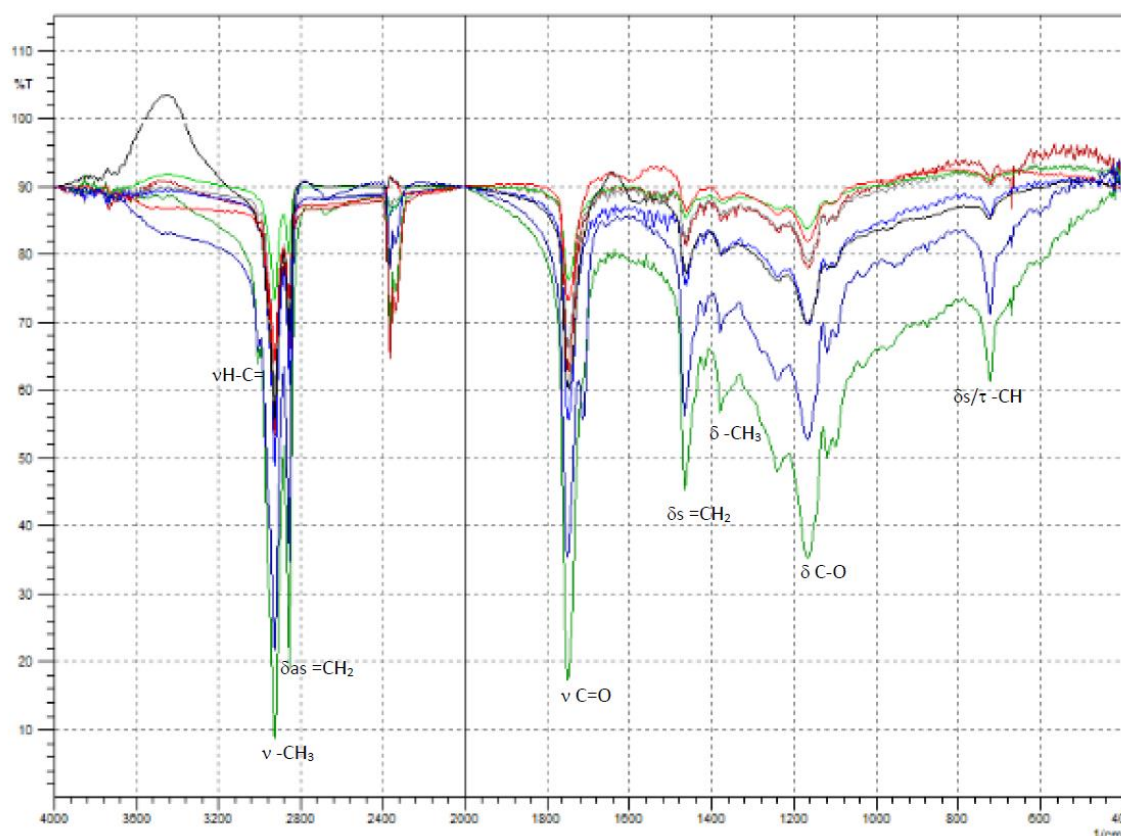


Figura 4. Espectros de absorção do óleo de Andiroba. verde: antes do aquecimento; azul: 8 horas; preto:16 horas; azul escuro: 24 horas; vermelho: 32 horas; cinza: 40 horas; verde escuro: 48 horas e vermelho: 56 horas de aquecimento

Tabela 3. Bandas de absorção do infravermelho do óleo de Andiroba em função dos tempos de aquecimento

Modo vibracional/Grupo funcional	Número de onda cm^{-1}							
	sem aquecimento	8 horas	16 horas	24 horas	32 horas	40 horas	48 horas	56 horas
δ_s/τ : CH	721	721	-	-	-	-	-	-
δ : C-O	1165	1165	1163	1163	1163	1166	1166	1166
	1377	1377	-	-	-	-	-	-
δ : CH ₃	1404	-	-	-	-	-	-	-
	1417	-	-	-	-	-	-	-
δ_s =CH ₂	1465	1465	1458	1456,	1458	1462	1460	1460
	1712	-	-	-	1716	-	-	-
ν : C=O	1745	1745	1743	1745	1743	1743	1743	1743
	2852	2852	2852	2852	2852	2854	2854	2854
δ_{as} : =C-H ₂	2852	2852	2852	2852	2852	2854	2854	2854
ν : C-H ₃	2924	2924	2924	2924	2924	2926	2926	2926
ν : H-C=	3005	-	-	-	-	-	-	-

ν - Deformação Axial; s - simétrica, as - assimétrica, δ - deformação angular no plano, τ - deformação angular assimétrica fora do plano

3.4. Caracterização do polímero por Difratomia de raios X – XRD

Materiais poliméricos apresentam em seus padrões de difração alguns aspectos comuns com materiais cristalinos, isto é, reflexão de Bragg distintas, embora alargadas e

superpostas a um espalhamento de difusão, característicos de substâncias não cristalinas.³² Neste contexto o polímero formado apresenta baixo grau de cristalinidade sendo predominantemente amorfo. O difratograma, Figura 5, do polímero formado apresentou um grau de 91,46 % amorfo e 9,54 % cristalino.

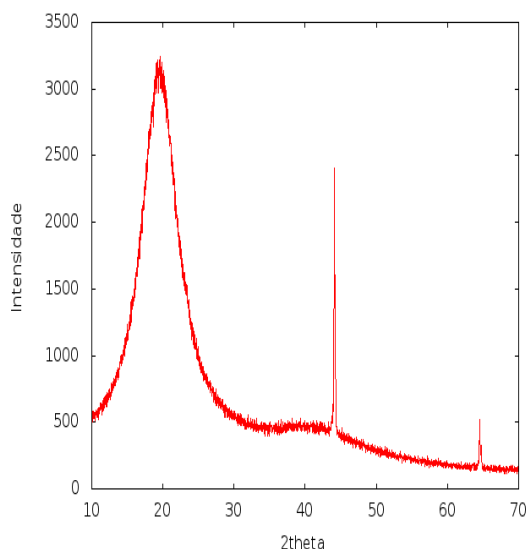


Figura 5. Difratograma do óleo de Andiroba com tempo de aquecimento de 56 horas

3.5. Características aparentes do polímero formado

O óleo de Andiroba apresenta características tradicionais em relação a sua cor, amarelo-claro e a seu estado físico em temperatura ambiente, líquido Figura 6 (a).

Mas, com 56 horas de aquecimento, sua aparência muda completamente Figura 6 (b), apresentando alta viscosidade. Percebe-se claramente que o mesmo desenvolveu uma elasticidade, evidenciando que o óleo teve sua estrutura química modificada, conduzindo a formação de um filme sólido.¹⁵

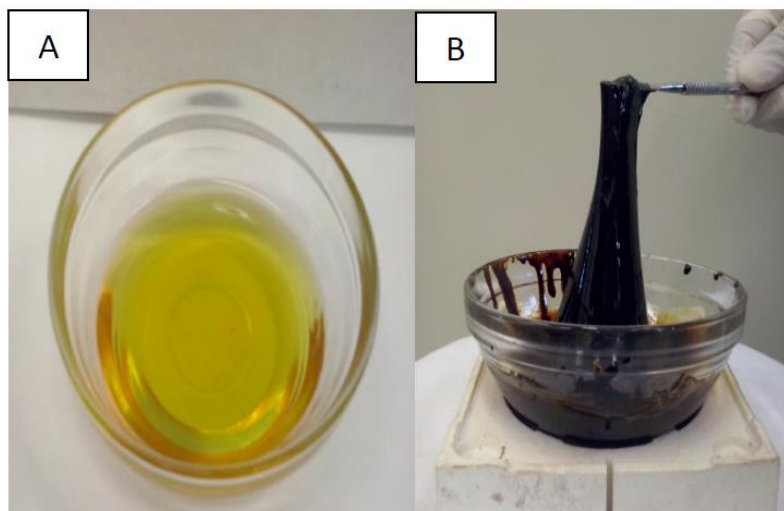


Figura 6. Características físicas do óleo de Andiroba sem aquecimento (A) e com 56 horas de aquecimento (B)

4. Considerações Finais

A espectroscopia por FT-IR mostrou que o óleo de Andiroba sofreu alterações em suas bandas de absorção no decorrer do processo de aquecimento, sendo possível que estejam relacionadas com o aumento progressivo do grau de polimerização devido ao aumento do número de ligações cruzadas e diminuição sistemática das ligações duplas. Já a difratometria de raios X mostrou baixa cristalinidade para o polímero obtido do óleo de Andiroba. Este processo de polimerização conduziu a formação de um material sólido com certa elasticidade e alta viscosidade. Assim, o presente estudo confirmou o potencial não-madeireiro da espécie *Carapa guianensis* Aublet podendo o óleo extraído de suas sementes ser polimerizável o que agrega valor ao mesmo, uma vez que, as indústrias vêm buscando novas fontes e materiais poliméricos biodegradáveis ou como são chamados atualmente, biopolímeros para substituição de derivados do petróleo com vistas a redução de impactos ambientais

Agradecimentos

A Embrapa – RR pelo suporte técnico e disponibilidade das amostras.

Referências Bibliográficas

- ¹ Coutinho, F. M. B.; Mello, I. L.; Santa Maria, L. C.; Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. *Polímeros* **2003**, *13*, 1. [CrossRef]
- ² ABPol.; ABPol: O início de uma nova etapa. *Polímeros* **1997**, *7*, 12. [CrossRef]
- ³ Silva, E. A.; Neto, J. M. M.; Impactos ambientais da produção de garrafas de polietileno numa indústria de Teresina-PI. *Polímeros* **2015**, *25*, 59. [CrossRef]
- ⁴ Sitio da Reviplast. Disponível em: <https://issuu.com/reviplast/docs/reviplast_57>. Acesso em: 15 Fevereiro 2018.
- ⁵ Sitio Química.com.br. Disponível em: <<https://www.quimica.com.br/perspectivas-2017-plasticos-consumidores-de-transformados-projetam-aumento-gradativo-de-demanda-para-os-proximos-anos/>>. Acesso em: 18 Fevereiro 2018.
- ⁶ Soares, E. P.; Nunes, E. C. D.; Saiki, M.; Wiebeck, H.; Caracterização de Polímeros e Determinação de Constituintes Inorgânicos

- em Embalagens Plásticas Metalizadas. *Polímero* **2002**, *12*, 206. [CrossRef]
- ⁷ Satyanarayana, K. G.; Wypych, F.; Ramos, L.P.; Amico, C. S.; Sydenstrincker, T. H. D.; Abstracts of *International Symposium on Natural Polymers and Composites*, São Pedro, Brasil, 2004.
- ⁸ Reda, S. Y.; Carneiro, P. I. B.; Caracterização do Polímero do óleo de Girassol obtido por aquecimento. *Revista Analytica* **2006**, *25*, 44. [Link]
- ⁹ Brito, G. F.; Agrawal, P.; Araújo, E. M.; Mélo, T. J. A.; Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos* **2011**, *6*, 127. [Link]
- ¹⁰ Padrella, J. G. C.; *Centro de Tecnologia de Processos e Produtos; Relatório Técnico 84396-205. Biopolímeros e Intermediários Químicos*, 2006.
- ¹¹ Pinho, E.; *A Lavoura, edição especial: Sustentabilidade*. Sociedade Nacional da Agricultura: Rio de Janeiro, 2012.
- ¹² Li, F.; Larock, R. C.; Synthesis, Structure and Properties of New Tung Oil drfgvhbnStyrene Divinylbenzene Copolymers Prepared by Thermal Polymerization. *Biomacromolecules* **2003**, *4*, 1018. [CrossRef]
- ¹³ Ramalho, V. C.; Jorge N.; Antioxidantes Utilizados em Óleos, Gorduras e Alimentos Gordurosos. *Química Nova* **2006**, *29*, 755. [CrossRef]
- ¹⁴ Sítio de Aditivos & Ingredientes. Disponível em: <<http://aditivosingredientes.com.br/>>. acesso em: 12 Janeiro 2018.
- ¹⁵ Espasandin, R. L.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade do Porto, Portugal, 2011. [Link]
- ¹⁶ Gomes, T.; Caponio, F.; Delcuratolo, D.; Fate of oxidized triglycerides during refining of seed oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2003**, *51*, 4647. [CrossRef]
- ¹⁷ Martins, G. B. C.; Mello, V. M.; Suarez, P. A. Z. Processos Térmicos em Óleos e Gorduras. *Revista Virtual de Química* **2013**, *5*, 16. [CrossRef]
- ¹⁸ Reda, S. Y.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil, 2004. [Link]
- ¹⁹ Araújo, J.M.A. *Química de Alimentos: Teoria e Prática*. 2a. ed., UFV: Viçosa, 1999.
- ²⁰ Freire, P. C. M.; Mancini-Filho, J.; Ferreira, T. A. P. C.; Principais alterações físico-químicas em óleos e gorduras submetidos ao processo de fritura por imersão: regulamentação e efeitos na saúde. *Revista de Nutrição* **2013**, *26*, 353. [CrossRef]
- ²¹ Carvalho, J. C. T.; *Fitoterápicos Anti-inflamatórios: Aspectos químicos, farmacológicos e aplicações terapêuticas*, 1a. ed., Tecmedd: Monções, 2004.
- ²² Farias, E. S.; Filho, A. A. M.; *Resumo do 6º Encontro Nacional de Tecnologia Química*, Maceió, Brasil, 2012.
- ²³ Silveira, B. I.; Carioca, C. R. F.; *Resumos do 12º Congresso Brasileiro de Catálise*, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
- ²⁴ Farias, E. S.; Filho, A. A. M.; Sousa, R. C. P.; Castilho, C.; Silva, S. R. *Resumo do 52º Congresso Brasileiro de Química*, Recife, Brasil, 2013.
- ²⁵ Cavalcante, B.; *Frutas Comestíveis da Amazônia*. 5a. ed., Cejup: Belém, 1991.
- ²⁶ Ferraz, I. D. K.; Camargo, J. L. C.; Sampaio, P. T. B.; Sementes e Plântulas de Andiroba (*Carapa guianensis* AUBL e *Carapa procera* D. C.): Aspectos Botânicos, Ecológicos e Tecnológicos. *Acta Amazônica* **2002**, *32*, 647. [CrossRef]
- ²⁷ Silverstein, R.M.; Bassler, G.C.; Morrill, T.C.; *Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos*, 5a. ed., Editora Guanabara Koogan S.A: Rio de Janeiro, 1994.
- ²⁸ Barbosa, L. C. A.; *Espectroscopia no Infravermelho*, 1a. ed., UFV: Minas Gerais, 2008.
- ²⁹ Ribeiro, C. M. R.; Souza, N. A.; Esquema geral para elucidação de substâncias orgânicas usando métodos espectroscópico e espectrométrico. *Química Nova* **2007**, *30*, 1026. [Link]

- ³⁰ Lopes, W. A.; Fascio, M.; Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. *Química Nova* **2004**, *27*, 670. [CrossRef]
- ³¹ Disponível em: http://www.angelfire.com/crazy3/qfl2308/1_multipart_xF8FF_2_DIFRACAO.pdf. Acessada em: 09 março 2018.
- ³² Sanches, E. A.; *Tese de Doutorado*. Universidade de São Paulo, Brasil, 2011. [Link]
- ³³ Kinast, E. J.; *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2000. [Link]
- ³⁴ Vieira, M. A. R.; Carvalho, C. R. L.; Soares-Scott, M. D.; Melletti, L. M. M.; Texeira, J. P. F.; Ambrosio, L. A.; Marques, M. O. M.; *Resumos 46º Congresso Brasileiro de Olericultura*, Goiânia, Brasil, 2006.
- ³⁵ Oetterer, M.; Regitano, D'arce, M. A. B.; Spoto, M. H. *Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos*. São Paulo: ed. Manole, 2006.
- ³⁶ Vasconcelos, A. F. F.; *Tese de Doutorado*. Universidade Federal da Paraíba, Brasil, 2009. [Link]
- ³⁷ Albuquerque, G. A.; *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal da Paraíba, Brasil, 2006. [Link]
- ³⁸ Alves, W. F.; Almeida, A. N. S.; Souza, C. G.; Abdallah, D. O.; Oliveira, S. S.; *Resumo do 66ª Reunião da Sociedade Brasileira de para o Progresso da Ciência - SBPC*, Rio Branco, Brasil, 2014.
- ³⁹ Albuquerque, M.S.L.; Guedes, I.; Alcantara, P.; Moreira, S. G. C. Infrared absorption spectra of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil. *Vibrational Spectroscopy* **2003**, *33*, 127-131. [CrossRef]