

Estudo da conversão do óleo de mamona (*Ricinus communis L*) em polímeros: uma revisão

Castor oil (*Ricinus communis L*) conversion study into polymers: a review

Hanna Pires Caraméz Gonçalves¹, Hídila Souza Teixeira da Silva², José Thomaz de Carvalho¹, Cristiane de Souza Siqueira Pereira¹

Como citar esse artigo. Gonçalves H PC, da Silva HST, de Carvalho JT, Pereira CSS. Estudo da conversão do óleo de mamona (*ricinus communis L*) em polímeros: uma revisão. Revista Teccen. 2022;15(1);30-37.

Resumo

A conversão de óleos vegetais em biopolímeros aparece como uma alternativa sustentável promissora na substituição de polímeros produzidos à base de petróleo. Dentre os demais óleos vegetais já conhecidos, o óleo oriundo da mamona (*Ricinus communis L*) apresenta um grande potencial de utilização devido à quantidade de ácidos graxos que sua estrutura apresenta especialmente o do ácido ricinoleico. A modificação do ácido ricinoleico possibilita a conversão do óleo em diferentes polímeros. Sua obtenção é dada, geralmente, pela prensagem a frio e extração com solventes. Posteriormente o óleo é filtrado e refinado visando o aumento da estabilidade. O óleo refinado é encaminhado para as etapas de conversão, onde se inicia a síntese dos polímeros que é combinada pela sequência de operações tais como: desidratação, hidrogenação, pirólise, transesterificação e polimerização. Os polímeros obtidos podem ser classificados como: poliuretanos, poliamidas e poliésteres, e que os difere são as diferentes propriedades físicas e químicas (além da fórmula, funções e estruturas). Esses polímeros sintetizados podem ser aplicados em diversos setores tanto industriais quanto farmacêuticos. Deste modo, esta revisão apresenta as etapas de produção desses polímeros mais frequentemente utilizadas, desde a extração do óleo como as diferentes aplicações.

Palavras-Chave: Óleo de Mamona; Polímeros; Poliuretanos; Poliamidas; Poliésteres.

Abstract

The conversion of vegetable oils into biopolymers raises as a promising alternative in the replacement of petroleum-based polymers. Among the already known vegetable oils, the castor bean oil (*Ricinus communis L*) has a great potential for use due to the amount of fatty acids that its structure presents, especially that of ricinoleic acid. The modification of ricinoleic acid enables the conversion of oil into different polymers. It is usually obtained by cold pressing and solvent extraction. Afterwards, the oil is filtered and refined to increase stability. The refined oil is sent to the conversion steps, where the polymer synthesis begins, which is combined by the sequence of operations such as: dehydration, hydrogenation, pyrolysis, transesterification and polymerization. The polymers obtained can be classified as: polyurethanes, polyamides and polyesters, and what sets them apart are the different physical and chemical properties. These synthesized polymers can be applied in various sectors, both industrial and pharmaceutical. Thus, this review presents the production steps of these most frequently used polymers, from oil extraction to different applications.

Keywords: Castor Oil; Polymers; Polyurethanes; Polyamides; Polyesters.

Introdução

Destacando-se como uma importante commodity no setor da agricultura, os óleos vegetais, têm ganhado grande visibilidade acadêmica, pois é um recurso renovável que apresenta baixo custo, boa disponibilidade ao qual aparece como uma alternativa sustentável promissora capaz de auxiliar na redução dos impactos ambientais causados pela utilização de polímeros à base de petróleo. As funcionalidades e estruturas dos óleos

vegetais são propícias para diversos tipos de reações e obtenções de diferentes produtos (Nekhavambe et al., 2019; Chakraborty e Chatterjee, 2020).

Óleos oriundos da mamona (Tenorio-Alfonso, Sánchez, Franco, 2019), soja (Clemente e Cahoon, 2009) e oliva (Nilawar, et al., 2019) têm relevância no meio científico, pois acredita-se que o uso dessas matérias primas aplicados na produção de diferentes produtos, apresentam tecnologias sustentáveis (Chakraborty e Chatterjee, 2020). Dentre esses, o óleo de origem da mamona (*Ricinus communis L.*), também conhecido

Afiliação dos autores:

¹Curso de Engenharia Química, Universidade de Vassouras, Vassouras, RJ., Brasil.

²Doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

Email para correspondência: crispereirauss@gmail.com

Recebido em: 24/11/2021. Aceito em: 01/04/2022.

como óleo de rícino, apresenta um maior destaque, devido à disponibilidade, custo-benefício, biodegradabilidade e facilidade de extração de sementes de mamona. Acredita-se sua origem tenha sido em diversas áreas, tais como: África, Ásia, Índia e China (Ogunniyi, 2006; Mubofu, 2016; Kunduru et al., 2015; Tan et al., 2018).

Caracterizado pelo alto teor de ácido ricinoleico, ao qual, corresponde aproximadamente cerca de 89% do óleo, torna-o um pólio natural que tem sido amplamente utilizado na síntese de poliuretanos (PU's) (Conceição et al., 2007; Chakraborty e Chatterjee, 2020; Nekhavhambe et al., 2019; Kunduru et al., 2015; Zhang et al., 2017). Para essa síntese, é necessária uma sequência de processos, tais como desidratação, hidrogenação e pirólise os quais serão abordados neste artigo.

Deste modo, o principal objetivo desta revisão é apresentar as vantagens da utilização do óleo de mamona como matéria prima na indústria de polímero e como esta tem sido impactada pela utilização do óleo de mamona.

Óleo da mamona

O óleo da mamona é obtido por meio da extração por solvente e prensagem a frio a partir das sementes da planta *Ricinus communis L.*, que é uma planta que possui uma boa cultura e adaptabilidade em regiões tropicais e subtropicais e, devido a isso, no Brasil, estudos envolvendo diferentes aplicações desse óleo têm sido desenvolvidos. Dentro das diferentes gamas de aplicações: cosméticos, tintas e lubrificantes, a conversão em polióis tem ganhado destaque, devido à quantidade de ácidos graxos encontrados em sua estrutura, especialmente o ácido ricinoleico (Araújo et al., 2014).

Com aproximadamente 89% do triglicerídeo derivado do ácido ricinoleico (12-hidroxi-9-octadecenoico) em sua composição, o qual é um ácido graxo hidroxilado presente em poucos óleos vegetais, é caracterizado por ser um polioliol natural trifuncional, devido aos três grupos reativos funcionais presente na sua estrutura química: um grupo éster, uma dupla ligação e uma hidroxila que favorecem diversas alterações químicas (Maia e Fernandes, 2019). A representação da estrutura química da molécula do óleo da mamona é demonstrada na Figura 1.



Figura 1. Representação da estrutura do ácido ricinoleico.

Fonte: Adaptado de Kunduru et al., 2015.

As alterações na estrutura do óleo, são caracterizadas por reações de esterificações e transesterificações direta do ácido ricinoleico, que é uma das etapas da conversão do óleo em bioprodutos, com interesse para amplas aplicações na síntese de PU's, que é melhor discutida no item Aplicações, deste artigo.

Os teores dos ácidos graxos presentes no óleo de mamona são mostrados na Tabela 1 (Costa et al., 2004).

O óleo de mamona é caracterizado por ser um líquido viscoso, não comestível, não volátil e apresenta uma coloração amarelada (Ogunniyi, 2006).

Tabela 1. Teores de ácido graxo presentes no óleo de mamona.

Ácido graxos	Teor (%)
Ácido ricinoleico	89,0
Ácido linoleico	4,2
Ácido oleico	3,0
Ácido esteárico	1,0
Ácido palmítico	1,0
Ácido dihidroxiesteárico	0,7
Ácido licosanoico	0,3
Ácido eicosanoico	0,3

Fonte: Adaptado de Costa et. al. (2004).

Extração do óleo de mamona

A combinação de prensagem a frio e a extração com solventes, são as principais formas de obtenção do óleo. Inicialmente, uma limpeza é feita, onde as cascas são removidas e secas em uma estufa. Posteriormente, as sementes secas, são direcionadas a etapa de moagem ao qual uma prensa hidráulica ou uma rosca contínua é utilizada. A etapa de moagem geralmente ocorre em temperatura ambiente, para manter importantes propriedades do óleo no qual é utilizada a circulação de água fria para controlar a temperatura da extração do óleo. Dependendo da finalidade do óleo, altas temperaturas podem ser utilizadas a fim de obter-se um aumento da eficiência e rendimento do óleo (Ogunniyi, 2006; Patel et al., 2016; Yeboah et al., 2020).

O óleo é levado para filtragem e o material filtrado retorna ao processo com novas sementes. A prensagem a frio removerá aproximadamente cerca de 45%-55% do óleo (Ogunniyi, 2006). Em razão disso

a torta obtida mediante a filtragem é levada para um extrator Soxhlet ou extrator de solvente comercial onde solventes orgânicos como, hexano (Nangbes *et al.*, 2013; Danlami *et al.*, 2015) e heptano (Ogunniyi, 2006).

Após a filtragem, o óleo bruto é encaminhado para a etapa de refino, um ponto importante para sua conservação, pois nessa etapa serão retiradas as impurezas como, fosfolípidios, excesso de ácidos graxos livres (FFA's) e corantes (Patel *et al.*, 2016). As etapas do processo de refino do óleo consistem em: degomagem, neutralização, branqueamento e desodorização (Nkouetcha, 2019).

A Figura 2 apresenta o fluxograma das etapas do processo da obtenção do óleo da mamona.

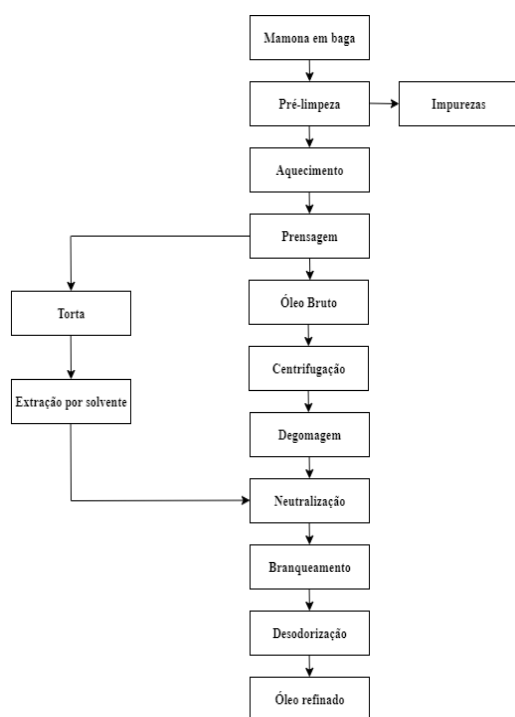


Figura 2. Processo da síntese de extração do óleo da mamona.

Fonte: Ogunniyi, 2006; Patel *et al.*, 2016; Yeboah *et al.*, 2020; Nangbes *et al.*, 2013; Danlami *et al.*, 2015; Nkouetcha, 2019

Propriedades físicas e químicas

As propriedades físicas e químicas do óleo da mamona variam com método de extração utilizado. Quando utilizamos a prensagem a frio, obtemos um óleo com baixo índice de acidez quando comparado ao óleo extraído por solvente. A faixa de variação da gravidade específica é ligeiramente menor quando o óleo é extraído

com solvente. O valor do iodo (WIJS) possui uma pequena variação, sendo a extração com solvente ligeiramente mais baixa (Ogunniyi, 2006; Patel *et al.*, 2016). As propriedades físicas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades Físicas e Químicas do Óleo de Mamona.

Propriedades	Óleo Prensado a frio	Óleo extraído com solvente	Óleo desidratado
Gravidade específica	0,961-0,963	0,957-0,963	0,926-0,937
Índice de acidez	3	10	6
Valor de iodo (WIJS)	82-88	80-88	125-145
Valor de saponificação	170-185	177-182	185-188

Fonte: Adaptado de Ogunniyi, 2006.

Etapas de conversão

Desidratação

Por possuir apenas uma ligação dupla em cada cadeia de ácido graxo (Ogunniyi, 2006) e também devido ao baixo valor de iodo em sua composição, o óleo de mamona é classificado como um óleo não secante, porém o óleo pode ser desidratado e assim possuir propriedades secantes (Mutlu e Meier, 2010).

A desidratação ocorre na faixa de temperatura entre 250°C e 300°C, na presença de catalisadores. É importante destacar que temperaturas elevadas podem levar a polimerização e gelificação do óleo, por isso, a temperatura de operação é considerada importante (Mubofu, 2016; Nekhavhambe *et al.*, 2019). Os catalisadores frequentemente usados para a desidratação do óleo de rícino são: H₂SO₄, bissulfato de sódio (Yan *et al.*, 2017), ácido fosfórico, anidrido ftálico e argilas ativadas por ácido (Mutlu e Meier, 2010).

Na etapa de desidratação, ocorre a remoção de um átomo de hidrogênio do 11° carbono ou do 13° carbono da porção de ácido ricinoleico da molécula juntamente com a água. Formando uma mistura de dois ácidos cada um contendo duas ligações duplas, sendo uma delas não conjugada e a outra conjugada. Assim, o óleo de rícino que era classificado como um óleo não secante passa a ser conhecido como óleo de rícino desidratado (Ogunniyi, 2006; Nekhavhambe *et al.*, 2019). A Figura 3 apresenta as etapas da desidratação do ácido ricinoleico.

Hidrogenação

A hidrogenação é um processo utilizado que visa aumentar o ponto de fusão e melhorar a

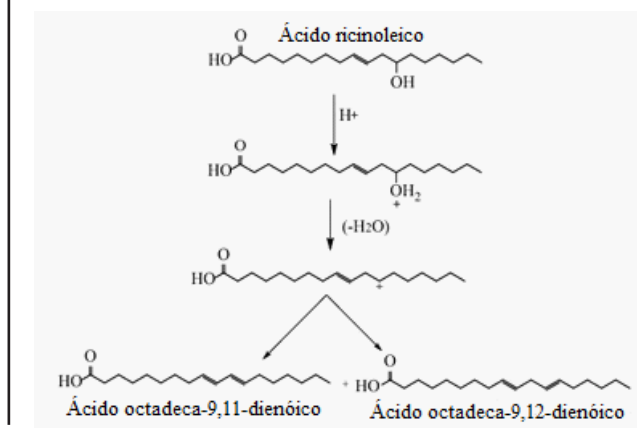


Figura 3. Desidratação do ácido ricinoleico.

Fonte: Adaptado de Mubofu, 2016.

estabilidade oxidativa dos óleos. Esta, pode ser feita por meio da hidrogenação por transferência catalítica (CTH), utilizando alguns solventes (Pb/C) doadores de hidrogênio. A CTH usualmente é realizada em temperatura ambiente e pressão atmosférica (25°C e 1 bar) (Souza Schneider et al., 2004).

A hidrogenação pode ser realizada similarmente com a adição de hidrogênio ao ácido graxo insaturado na presença de um catalisador (paládio ou níquel), transformando o ácido ricinoleico líquido em um ácido saturado semissólido, o ácido 12-hidroxiesteárico, a Figura 4, demonstra essa hidrogenação (Mubofu, 2016).

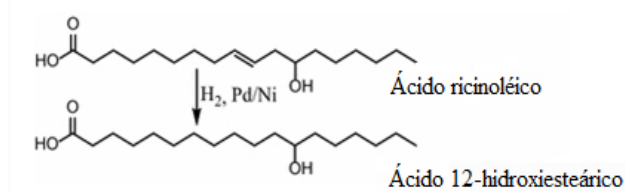


Figura 4. Hidrogenação de ácido ricinoleico.

Fonte: Adaptado de Mubofu, 2016.

Pirólise

A pirólise é realizada para manter a estabilidade do óleo de mamona por longos períodos de tempo, facilitando sua armazenagem e transporte. O óleo pirolítico está ligado diretamente à substituição do petróleo bruto na indústria (Singh e Shadangi, 2011). Dependendo diretamente das condições operacionais, a pirólise pode

ser classificada como: lenta ou rápida (Chen et al., 2017).

A pirólise lenta, também descrita como pirólise convencional, produz menor rendimento do óleo, maior rendimento de carvão e envolve três tipos de produtos (gás, líquido e carvão) (Singh e Shadangi, 2011). A pirólise rápida consiste em aquecer o material rapidamente em altas temperaturas na ausência de oxigênio, resultando em um rendimento de até 60%-75% em óleo, 15%-25% em sólidos e 10%-20% em gases (Chen et al., 2017).

Geralmente realizada a 1 bar e temperaturas superiores a 400°C, a pirólise divide a molécula de ricinoleico no grupo hidroxila, e pode formar seis novas moléculas (Figura 5). Os principais produtos obtidos por meio da pirólise do óleo de rícino são: heptaldeído, que pode ser utilizado como solventes para borrachas, resinas e plásticos; e o ácido undecilênico, algumas de suas aplicações são remédios para pés de atletas e Nylon. Tanto o heptaldeído quanto ácido undecilênico podem ser empregados na indústria de cosméticos, produtos farmacêuticos e compostos poliméricos (Mutlu e Meier, 2010).

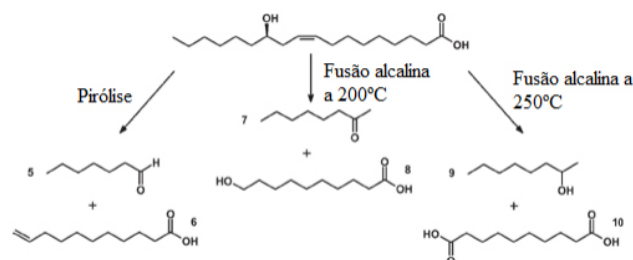


Figura 5. Produtos químicos da plataforma industrial derivados do óleo de rícino via pirólise e fissão alcalina em diferentes temperaturas.

Fonte: Adaptado de Mutlu e Meier, 2010.

Diferentes autores têm realizado estudos de pirólise com diferentes temperaturas ao longo dos anos.

Singh e Shadangi (2011) realizaram experimento com o óleo de mamona até a temperatura de 700°C, onde observou que o rendimento volumétrico do líquido aumentou até atingir 550°C, após isso, o volume permaneceu quase constante até os 600°C.

Deshpande et al. (2013) observaram o comportamento da pirólise lenta do óleo, a faixa de temperatura utilizada foi 350°C, 400°C e 450°C. O autor observou diminuição da viscosidade até atingir a faixa de 400°C, e aumento logo após, constatando assim o aumento da viscosidade total do óleo no fim do processo. O autor também avaliou a variação de densidade, no qual ocorreu a leve redução da densidade inicial.

Transesterificação

A transesterificação de óleos vegetais é uma etapa importante para diminuição da viscosidade e aumento da volatilidade do produto final. No qual, pela mistura de óleo vegetal (porção de triglicerídeo dos ácidos graxos) com um álcool, na presença de catalisadores reagem formando ésteres monoalquílicos de ácidos graxos e glicerol (Garcia *et al.*, 2006; Sinha e Agarwal, 2008).

A transesterificação dos óleos vegetais está mais comumente ligada à produção de biodiesel na indústria. Os catalisadores mais utilizados na transesterificação são os homogêneos ácidos (HCl , H_2SO_4 , H_3PO_4), mas catalisadores básicos também são utilizados, mas com menos incidência (KOH , NaOH , CH_3OK , $(\text{CH}_3\text{O})_2\text{Ca}$, CaO) (Mubofu, 2016; Du *et al.*, 2018).

Contudo, a utilização dos catalisadores homogêneos gera um custo maior de manutenção, pois os catalisadores ácidos levam a corrosão dos equipamentos e o descarte de resíduos ácidos no meio ambiente. Os catalisadores básicos causam saponificação da matéria-prima, que formam emulsões e geram mais custos na cadeia produtiva. Por isso vem crescendo o interesse por catalisadores heterogêneos na transesterificação de óleos vegetais (Du *et al.*, 2018, Negm *et al.*, 2019).

Sousa *et al.*, (2010) apresentaram um estudo de produção de ésteres metílicos com óleo de mamona e metanol, e antes da transesterificação que utilizou glicerol para neutralizar o óleo, o processo ocorreu à temperatura ambiente. Dave e Patel (2017) realizaram a transesterificação do óleo de rícino com trietanolamina a 150°C durante 2h, para a síntese de redes poliméricas. Negm *et al.*, (2019) estudaram a conversão do óleo de mamona e de *pinhão manso* em biodiesel utilizando catalisadores heterogêneos ácidos preparados por modificação de argila de mica silano. Valero e Ortegón (2015) apresentaram estudos sobre a transesterificação do óleo de mamona modificado juntamente com pentaeritritol, poli (ϵ -caprolactona) diol (PCL) e diisocianato de isoforona para obtenção de poliuretanos (PUs), a síntese foi realizada a 200°C durante 2,5h.

Polimerização

A polimerização é a reação em que os monômeros reagem e forma uma macromolécula de alta massa molar. Ela está ligada diretamente ao tipo de polímero que deseja sintetizar, variando o tipo de cadeia polimérica podem-se obter variações nas características físico-químicas levando propriedades diferentes em cada polímero produzido (Lucas *et al.*, 2001; Canevarolo Jr, 2002).

Durante a polimerização as variações da temperatura, pressão, tempo de residência, iniciador utilizado e a agitação influenciam diretamente a reação, denominadas variáveis primárias. Já as variáveis

secundárias são os catalisadores, o inibidor, o retardador, controlador de massa molar, quantidade de reagentes e demais agentes específicos (Canevarolo Jr, 2002).

Aplicações

Devido às características apresentadas pelo óleo de mamona, o interesse industrial sobre ele vem aumentando, tanto na indústria de biopolímeros quanto de biocombustíveis (Mubofu, 2016; Du *et al.*, 2018).

Os polímeros produzidos pelos polióis naturais (sintetizados pelos óleos vegetais) apresentam uma gama de variedades, podendo ser poliuretanos, poliésteres e poliamidas que contém propriedades físicas e mecânicas distintas (Mubofu, 2016; Chakraborty e Chatterjee, 2020). A figura 6 apresenta potenciais aplicações da biomassa do ácido ricinoleico no campo polimérico.

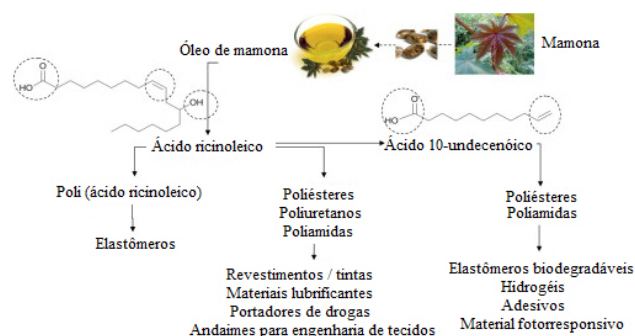


Figura 6. Fonte de biomassa de ácido ricinoleico e algumas aplicações potenciais no campo polimérico.

Fonte: Adaptado de Totaro *et al.*, 2014.

Os poliuretanos (PUs) são o tipo de termoplástico mais popular na indústria (Chakraborty e Chatterjee, 2020). Normalmente os poliuretanos são sintetizados por meio da reação de poliadição entre diisocianato orgânicos e compostos contendo grupos hidroxila ativos, como os polióis (Mubofu, 2016).

As aplicações dos poliuretanos dependem da escolha dos monômeros utilizados para sua síntese, juntamente com a natureza dos diisocianatos (Corcuera *et al.*, 2010). Os poliuretanos podem ser utilizados como revestimentos, elastômeros fundidos, elastômeros termoplásticos, espumas rígidas, espumas semirrígidas, selantes, espumas flexíveis e adesivos (Mubofu, 2016; Gama e Barros-Tommons, 2019). Os poliuretanos à base de óleo de rícino possuem boa elasticidade e flexibilidade devido à longa cadeia de ácidos

graxos presente na estrutura do óleo (Dave e Patel, 2017).

Carricho et al., (2016) produziram espumas de poliuretano a partir de óleo de rícino, glicerol bruto e lignina não tratada com polióis a base biológica. Foi observado, que com o aumento da lignina diminui a estabilidade térmica da espuma. Em contra partida, o aumento do óleo de mamona promove o aumento na quantidade de reticulação de uretano, proporcionando assim maior rigidez as espumas. Os autores também observaram um aumento na resistência da espuma quando sintetizada juntamente com água. As espumas apresentadas possuem um bom potencial para uso em escala industrial.

Ionescu et al., (2016) sintetizaram três polióis à base de óleo de rícino com altos valores de OH usando reações de grupos mercaptan (tiol) (-SH) com compostos de dupla ligação e hidroxilas, para a produção de espumas rígidas de poliuretanos para isolamento térmico de freezers, tanques de armazenamento para as indústrias química e alimentícia, isolamento de edifícios e embalagens.

Liang et al., (2018) estudou a utilização do óleo de rícino para preparar dispersão de poliuretano catiônico à base de água usando N-metil dietanolamina (MDEA) como centro de íons. Os autores constataram que os poliuretanos produzidos apresentaram propriedades antibacterianas ideais para a confecção de filmes de poliuretanos para instrumentos médicos, processamento de alimentos ou adicionados em tintas para controle de patógenos.

Os poliésteres são outra classe de polímero que podem ser sintetizados a partir do óleo de rícino. Os poliésteres alifáticos são geralmente empregados *in vivo* devido a sua biocompatibilidade e degradabilidade (Sathiskumar e Mandras, 2011). Podem ser aplicados na biomedicina controlando as propriedades de liberação do fármaco, devido a possibilidade de eliminação do corpo pela via de β -oxidação e excretados na forma de CO_2 e pela taxa de degradação do polímero (Kundur et al., 2015)

Sathiskumar e Mandras, (2011) sintetizaram diferentes polímeros variando a razão molar dos monômeros utilizados. Os polímeros produzidos apresentaram características interessantes para aplicação de ligamentos, vasos sanguíneos e nervos no corpo humano, variando as condições de cura no poliéster as propriedades físicas e mecânicas podem ser ajustadas de acordo com a necessidade.

Totaro et al., (2014) estudaram a ação antibacteriana de diferentes poliésteres derivados do óleo de rícino e do 10-undecenoato. Os poliésteres apresentaram diferentes taxas antibacterianas para as diferentes bactérias analisadas, levando a conclusão que os poliésteres sintetizados são eficientes.

Winnacker e Rieger, (2016) apresentaram um estudo sobre a utilização do óleo de mamona para a produção de monômeros e poliamidas derivados do óleo de rícino. O estudo mostra a síntese do Nylon-11 via policondensação de ácido 11-

aminoundecanóico, que pode ser obtido por meio da policondensação dos subprodutos da pirólise do ácido ricinoleico. O estudo também apresenta diferentes rotas para sintetizar outros tipos de poliamidas.

As poliamidas apresentam características excelentes para produção de fibras automobilísticas ou para aplicações elétricas, eletrônicas, indústria têxtil, artigo de consumo e no setor médico. As principais propriedades apresentadas por ela são: resistência ao calor, tenacidade e resistência química e, dependendo da estrutura, biocompatibilidade (Winnacker e Rieger, 2016; Meier 2019).

Considerações finais

Como demonstrado ao longo do artigo, o óleo de mamona é um recurso renovável promissor para a indústria de polímeros. Principalmente em razão de sua vantagem ambiental e da substituição de recursos petrolíferos, particularmente em países onde há um déficit na obtenção do petróleo. Outro fator que ajuda na substituição dos polióis a base de petróleo por polióis a base de óleos vegetais, é devido à flutuação do mercado petrolífero em relação à comercialização dos óleos vegetais, que não sofrem com essa interferência.

Outro ponto importante é a substituição dos óleos comestíveis (soja, palma, canola, girassol, milho etc.) por óleos não comestíveis (óleo de mamona) para a produção de polímeros e outros produtos químicos. Além das vantagens ambientais e econômicas apresentadas, os poliuretanos, poliésteres e poliamidas sintetizados a partir do óleo de rícino, apresentam grandes vantagens químicas, biológicas e físicas e podem conter diversas características (isolamento térmico ou sonoro, ação antibacteriana, controle de liberação de drogas no organismo etc.), ou seja, podem ser modificados para se adequar aos requisitos do consumidor final.

Portanto podemos concluir que o óleo de mamona vem se sobressaindo como uma importante matéria prima para indústria de biopolímeros. Sendo aplicada a em diversos setores para a produção de polióis naturais, devido à facilidade de cultivo e diferença em comparação com o petróleo, o óleo de mamona apresenta diversas aplicações no setor polimérico.

Podemos observar que a presença elevada do ácido ricinoleico (90%), que é um poliálcool natural, no óleo de mamona é um fator chave para sua utilização na produção de biopolímeros. Também como a redução dos impactos ambientais gerados pelo seu análogo, o petróleo. É importante salientar que o óleo de mamona pode ser modificado para se adequar ao consumidor final, podendo ser aplicado para síntese de poliuretanos, poliésteres e poliamidas. Os polímeros sintetizados pelo óleo de rícino podem apresentar diferentes propriedades químicas, biológicas e físicas, tanto no

setor industrial como isolamento térmico ou sonoro, quanto no setor farmacêutico, com controle de drogas e como agentes inibidores de crescimento bacteriano.

Referências

- Araújo, J. M.; Cavalcanti, J. M.; Cartaxo, W. V.; Vale, D. G.; Albuquerque, F. A.; Souza, M. F.; Alves, I. (2014). Sistema de Produção da Mamona (terceira edição) – Embrapa Algodão.
- Canevarolo Jr, S. V. (2002). Ciência dos polímeros. *Artiber editora, São Paulo*, 110-115.
- Carriço, C. S., Fraga, T., & Pasa, V. M. (2016). Production and characterization of polyurethane foams from a simple mixture of castor oil, crude glycerol and untreated lignin as bio-based polyols. *European Polymer Journal*, 85, 53-61.
- Chakraborty, I., & Chatterjee, K. (2020). Polymers and composites derived from castor oil as sustainable materials and degradable biomaterials: current status and emerging trends. *Biomacromolecules*, 21(12), 4639-4662.
- Chen, G. B., Li, Y. H., Chen, G. L., & Wu, W. T. (2017). Effects of catalysts on pyrolysis of castor meal. *Energy*, 119, 1-9.
- Clemente, T. E., & Cahoon, E. B. (2009). Soybean oil: genetic approaches for modification of functionality and total content. *Plant physiology*, 151(3), 1030-1040.
- Conceição, M. M., Candeia, R. A., Silva, F. C., Bezerra, A. F., Fernandes Jr, V. J., & Souza, A. G. (2007). Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(5), 964-975.
- Corcuera, M. A., Rueda, L., d'Arlas, B. F., Arbelaz, A., Marieta, C., Mondragon, I., & Eceiza, A. (2010). Microstructure and properties of polyurethanes derived from castor oil. *Polymer degradation and stability*, 95(11), 2175-2184.
- Costa, F. X., Severino, L. S., Beltrão, N. D. M., Freire, R. M. M., Lucena, A. M. A., & Guimarães, M. M. B. (2004). Composição química da torta de mamona. In *Congresso Brasileiro de Mamona* (Vol. 1). Campina Grande: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- Danlami, J. M., Arsal, A., & Zaini, M. A. A. (2015). Characterization and process optimization of castor oil (*Ricinus communis* L.) extracted by the soxhlet method using polar and non-polar solvents. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 47, 99-104.
- Dave, V. J., & Patel, H. S. (2017). Synthesis and characterization of interpenetrating polymer networks from transesterified castor oil based polyurethane and polystyrene. *Journal of Saudi Chemical Society*, 21(1), 18-24.
- Souza Schneider, R. C., Baldissarelli, V. Z., Trombetta, F., Martinelli, M., & Caramão, E. B. (2004). Optimization of gas chromatographic-mass spectrometric analysis for fatty acids in hydrogenated castor oil obtained by catalytic transfer hydrogenation. *Analytica Chimica Acta*, 505(2), 223-226.
- Deshpande, D., Haral, S., & Sarode, P. (2013). Hydrocarbon liquid from castor oil. *Res J Chem Sci*, 2231, 606X.
- Du, L., Ding, S., Li, Z., Lv, E., Lu, J., & Ding, J. (2018). Transesterification of castor oil to biodiesel using NaY zeolite-supported La₂O₃ catalysts. *Energy Conversion and Management*, 173, 728-734.
- Gama, N., Ferreira, A., & Barros-Timmons, A. (2019). Cure and performance of castor oil polyurethane adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 95, 102413.
- Garcia, C. M. (2006). Transesterificação de óleos vegetais.
- Ionescu, M., Radojčić, D., Wan, X., Shrestha, M. L., Petrović, Z. S., & Upshaw, T. A. (2016). Highly functional polyols from castor oil for rigid polyurethanes. *European Polymer Journal*, 84, 736-749.
- Kunduru, K. R., Basu, A., Haim Zada, M., & Domb, A. J. (2015). Castor oil-based biodegradable polyesters. *Biomacromolecules*, 16(9), 2572-2587.
- Liang, H., Liu, L., Lu, J., Chen, M., & Zhang, C. (2018). Castor oil-based cationic waterborne polyurethane dispersions: Storage stability, thermo-physical properties and antibacterial properties. *Industrial Crops and Products*, 117, 169-178.
- Lucas, E. F., Soares, B. G., & Monteiro, E. E. (2001). *Caracterização de polímeros: determinação de peso molecular e análise térmica*. Editora E-papers.
- Maia, D. L., & Fernandes, F. A. (2019). Effects of Operating Conditions on the Copolymerization of Castor Oil Maleate-Styrene by Suspension Polymerization. *Macromolecular Reaction Engineering*, 13(5), 1900017.
- Meier, M. A. (2019). Plant-oil-based polyamides and polyurethanes: Toward sustainable nitrogen-containing thermoplastic materials. *Macromolecular rapid communications*, 40(1), 1800524.
- Mubofu, E. B. (2016). Castor oil as a potential renewable resource for the production of functional materials. *Sustainable Chemical Processes*, 4(1), 1-12.
- Mutlu, H., & Meier, M. A. (2010). Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(1), 10-30.
- Nangbes, J. G., Nvau, J. B., Buba, W. M., & Zukdimma, A. N. (2013). Extraction and Characterization of Castor (*Ricinus Communis*) Seed Oil.
- Negm, N. A., Betiha, M. A., Alhumaimess, M. S., Hassan, H. M., & Rabie, A. M. (2019). Clean transesterification process for biodiesel production using heterogeneous polymer-heteropoly acid nanocatalyst. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117854.
- Nekhavambe, E., Mukaya, H. E., & Nkazi, D. B. (2019). Development of castor oil-based polymers: A review. *Journal of Advanced Manufacturing and Processing*, 1(4), e10030.
- Nilawar, S., Dasgupta, Q., Madras, G., & Chatterjee, K. (2019). Degradable poly (ester amide) s from olive oil for biomedical applications. *Emergent Materials*, 2(2), 153-168.
- Nkouetcha, E. T. (2019). Elaboration and performance analysis of a bio-based insulating liquid from castor oil for power transformers. *Open Access Library Journal*, 6(05), 1.
- Ogunniyi, D. S. (2006). Castor oil: a vital industrial raw material. *Bioresource technology*, 97(9), 1086-1091.
- Patel, V. R., Dumancas, G. G., Viswanath, L. C. K., Maples, R., & Subong, B. J. J. (2016). Castor oil: properties, uses, and optimization of processing parameters in commercial production. *Lipid insights*, 9, LPI-S40233.
- Sathiskumar, P. S., & Madras, G. (2011). Synthesis, characterization, degradation of biodegradable castor oil based polyesters. *Polymer degradation and stability*, 96(9), 1695-1704.
- Singh, R. K., & Shadangi, K. P. (2011). Liquid fuel from castor seeds by pyrolysis. *Fuel*, 90(7), 2538-2544.
- Sinha, S., Agarwal, A. K., & Garg, S. (2008). Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization. *Energy conversion and management*, 49(5), 1248-1257.
- Sousa, L. L., Lucena, I. L., & Fernandes, F. A. (2010). Transesterification of castor oil: Effect of the acid value and neutralization of the oil with glycerol. *Fuel processing technology*, 91(2), 194-196.
- Tan, A. C. W., Polo-Cambrenell, B. J., Provaggi, E., Ardila-Suárez, C., Ramirez-Caballero, G. E., Baldovino-Medrano, V. G., & Kalaskar, D. M. (2018). Design and development of low cost polyurethane biopolymer based on castor oil and glycerol for biomedical applications. *Biopolymers*, 109(2), e23078.
- Tenorio-Alfonso, A., Sánchez, M. C., & Franco, J. M. (2019). Synthesis and mechanical properties of bio-sourced polyurethane adhesives obtained from castor oil and MDI-modified cellulose acetate: Influence of cellulose acetate modification. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 95, 102404.
- Totaro, G., Cruciani, L., Vannini, M., Mazzola, G., Di Gioia, D., Celli, A., & Sisti, L. (2014). Synthesis of castor oil-derived polyesters with antimicrobial activity. *European polymer journal*, 56, 174-184.

39. Valero, M. F., & Ortegon, Y. (2015). Polyurethane elastomers-based modified castor oil and poly (ϵ -caprolactone) for surface-coating applications: Synthesis, characterization, and in vitro degradation. *Journal of Elastomers & Plastics*, 47(4), 360-369.
40. Winnacker, M., & Rieger, B. (2016). Biobased polyamides: recent advances in basic and applied research. *Macromolecular rapid communications*, 37(17), 1391-1413.
41. Yan, C. X., Ding, J. F., Ma, T. L., Shao, R., Xu, W., He, J., & Wang, P. F. (2017). Dehydration of Castor Oil over NaHSO₄/MCM-41 Catalyst Modified by n-Dodecyltriethoxysilane. *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 643(12), 772-779.
42. Yeboah, A., Ying, S., Lu, J., Xie, Y., Amoanimaa-Dede, H., Boateng, K. G. A., Chen, M., & Yin, X. (2020). Castor oil (*Ricinus communis*): a review on the chemical composition and physicochemical properties. *Food Science and Technology*.
43. Zhang, C., Garrison, T. F., Madbouly, S. A., & Kessler, M. R. (2017). Recent advances in vegetable oil-based polymers and their composites. *Progress in Polymer Science*, 71, 91-143.