UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA SUCROALCOOLEIRA

VANESSA HELENA OLIVEIRA DOS SANTOS

EXTRAÇÃO SUSTENTÁVEL DA CERA DA CANA- DE -AÇÚCAR POR SOLVENTES ORGÂNICOS VERDES: MÉTODOS, BENEFÍCIOS E APLICAÇÃO DO D-LIMONENO

JOÃO PESSOA

2026

VANESSA HELENA OLIVEIRA DOS SANTOS

EXTRAÇÃO SUSTENTÁVEL DA CERA DA CANA- DE -AÇÚCAR POR SOLVENTES ORGÂNICOS VERDES: MÉTODOS, BENEFÍCIOS E APLICAÇÃO DO D-LIMONENO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

Orientadora: Prof.ª. Drª. Danielle Christine Almeida Jaguaribe

JOÃO PESSOA

2026

Autorização de publicação

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S237e Santos, Vanessa Helena Oliveira Dos.
Extração sustentável da cera da cana-de-açúcar por solventes orgânicos verdes: metodos, benefícios e aplicações do d-limoneno / Vanessa Helena Oliveira Dos Santos. - João Pessoa, 2026.
36 f. : il.

Orientação: Danielle Christine Almeida Jaguaribe.
TCC (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Cana-de-açúcar. 2. Torta de filtro. 3. Cera. 4. D-limoneno. I. Jaguaribe, Danielle Christine Almeida. II. Título.

UFPB/CTDR CDU 664.111:502.131.1

Elaborado por Rodrigo Araújo de Sá Pereira - CRB-755/O

JOÃO PESSOA

2026

VANESSA HELENA OLIVEIRA DOS SANTOS

EXTRAÇÃO SUSTENTÁVEL DA CERA DA CANA- DE -AÇÚCAR POR SOLVENTES ORGÂNICOS VERDES: MÉTODOS, BENEFÍCIOS E APLICAÇÃO DO D-LIMONENO

Aprovado em: 31/03/2026

BANCA EXAMINADORA

Dra. Danielle Christene Almeida Jaguaribe

Orientador – UFPB

Drº. Marcelo Teixeira Leite

Examinador - UFPB

PROFª Drª. Gabriela Palpitz Mendes - (UFPB – Membro interno)

Dra. Gabriela Paulpitz Mendes

Examinadora - UFPB

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder força, fé e perseverança ao longo desta trajetória, sustentando-me nos momentos difíceis e permitindo que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, Eliezir Vicente dos Santos e Allan Oliveira dos Santos, sou profundamente grata pelo apoio incondicional, pelos ensinamentos e por sempre acreditarem em mim. À minha avó, Maria Rita Camilo da Silva Oliveira (*in memoriam*), deixo um agradecimento especial, pois seu incentivo aos estudos foi fundamental para que eu nunca desistisse dos meus objetivos. Agradeço também à minha tia Rita de Cássia, à minha prima Raisa Vicente e ao meu irmão Silvan Márcio, pelo carinho e incentivo durante toda essa caminhada.

Aos amigos que a vida acadêmica me proporcionou — Andressa Brito de Lima, Ingrid Santana, Tatiany Gonçalves, Heloísa Marinho, Gessica Moraes, Thiago Olinto e Rachel Reis — agradeço pela parceria, pelo apoio nos momentos difíceis e por tornarem essa jornada mais leve. À minha amiga Sara Ribeiro, minha gratidão por estar sempre presente com conselhos e palavras de incentivo.

Ao meu namorado, Mikael Angelo Martins de Souza, agradeço pelo apoio constante, compreensão e por ser meu porto seguro. Estendo minha gratidão aos meus sogros, Georgia Cristiane Martins da Silva e Flavio Barbosa de Souza, pelo acolhimento e incentivo.

À minha orientadora, Prof.ª Dr.ª Danielle Christine Almeida Jaguaribe, agradeço pela dedicação, paciência e orientação fundamentais para a realização deste trabalho. Aos membros da banca, Professor Marcelo Teixeira Leite e Professora Gabriela Paulpitz Mendes, sou grata pelas valiosas contribuições e ensinamentos ao longo do curso.

Aos técnicos de laboratório Renê Pinto da Silva, Maristela Alves Alcântara e Angela Lima Menezes de Queiroz, agradeço pelo suporte essencial durante a fase experimental.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, pelo apoio, incentivo e colaboração ao longo desta jornada.

EPÍGRAFE

" Esta é a confiança que temos ao nos aproximarmos de Deus: se pedirmos alguma coisa de acordo com a sua vontade, ele nos ouve"

(1 João 5:14)

RESUMO

Este estudo avaliou métodos de extração da cera da cana-de-açúcar, focando no uso de solventes orgânicos "verdes" como alternativa sustentável aos derivados de petróleo. A metodologia comparou a extração a frio (Método de Folch) e a quente (Método Goldfish) utilizando palha, casca e torta de filtro como biomassas, testando solventes convencionais (hexano e éter de petróleo) e alternativas verdes (D-limoneno e ácido cítrico). Os resultados demonstraram que o método de Folch foi ineficaz para palha e casca (0% de rendimento), mas a torta de filtro apresentou 3,61%. No sistema Goldfish, o uso de 100% D-limoneno causou a degradação térmica das amostras devido ao seu alto ponto de ebulição, enquanto a mistura de 30% D-limoneno e 70% hexano obteve o melhor desempenho, com 11,5% de rendimento na torta de filtro, superando o hexano puro. Conclui-se que a substituição parcial pelo D-limoneno é uma rota eficiente para aumentar a produtividade e sustentabilidade industrial, sugerindo-se o uso futuro de sistemas de vácuo para viabilizar o uso integral de solventes verdes sem comprometer a integridade dos compostos extraídos.

Palavras-chave: *Cana-de-açúcar; Torta de filtro; Cera; D-limoneno; Química verde.*

ABSTRACT

This study evaluated methods for extracting wax from sugarcane, focusing on the use of “green” organic solvents as a sustainable alternative to petroleum-based solvents. The methodology compared cold extraction (Folch method) and hot extraction (Goldfish method) using straw, husk, and filter cake as biomass, testing conventional solvents (hexane and petroleum ether) and green alternatives (D-limonene and citric acid). The results demonstrated that the Folch method was ineffective for straw and husks (0% yield), but the filter cake yielded 3.61%. In the Goldfish system, the use of 100% D-limonene caused thermal degradation of the samples due to its high boiling point, while the mixture of 30% D-limonene and 70% hexane achieved the best performance, with an 11.5% yield in the filter cake, outperforming pure hexane. It is concluded that partial substitution with D-limonene is an efficient route to increase industrial productivity and sustainability, and the future use of vacuum systems is suggested to enable the full use of green solvents without compromising the integrity of the extracted compounds.

Keywords: *Sugarcane; Filter cake; Wax; D-limonene; Green chemistry*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Casca e palha da cana-de-açúcar cortada e encaminhada para secagem em estufa (a) e a palha sendo triturada no moinho de facas (b). 21

Figura 2- Separação de fases durante a extração 24

Figura 3- Pesagem da amostra (a); Equipamento de extração (Goldfish) (b). 26

Figura 4- Amostra extraída com Éter de petróleo 28

Figura 5 - Proporção de 30% d-limoneno +70 hexano (Torta de filtro) (a); Proporção de 30% d-limoneno e 70% hexano (Palha) (b). 29

Figura 6 - Amostra extraída 100% ácido cítrico 30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rendimento médio utilizando método de extração Folch 26

Tabela 2 - Rendimento médio utilizando reagentes a 100% utilizando a palha como resíduo para extração. 27

Tabela 3 - Rendimento médio utilizando reagentes a 100% utilizando a torta de filtro como resíduo para extração. 28

Tabela 4 - Rendimento médio utilizando reagentes verdes, com diferentes proporções para a torta de filtro. 29

Tabela 5 - Rendimento médio utilizando reagente verde utilizando a palha como resíduo para extração. 29

Sumário

INTRODUÇÃO 10
1.1 Justificativa 13
OBJETIVOS 14
2.1 Objetivo geral 14
2.2 Objetivos específicos 14
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 15
3.1 Cera da Cana-de-Açúcar: Origem, Composição e Contexto Agroindustrial. 15
3.2 Aplicações e Benefícios: Do Setor Farmacêutico à Biotecnologia 17
3.3 Métodos de Extração e a Inovação dos Solventes Verdes (D-Limoneno) 19
METODOLOGIA 21
4.1 Preparo das amostras da cana-de-açúcar 21
4.2 Método de Folch 21
4.3 Goldfish 23
RESULTADOS 24
Avaliação do Método de Folch e a Matriz Vegetal 24
CONCLUSÃO 29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 30

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar firmou-se como um dos pilares da matriz agroindustrial brasileira, contribuindo de maneira significativa na segurança econômica e energética do país por meio da produção de açúcar e etanol. Porém, durante o processo industrial ocorre à geração de um grande volume de resíduos, que necessita de um descarte consciente, o que exige um controle ambiental sobre o mesmo. De acordo com Alvarenga e Queiroz (2009), é importante que essa prática de produção seja mais limpa e sustentável, diminuindo assim os impactos ambientais no setor sucroalcooleiro, renovando o que seria apenas um descarte em uma possibilidade de novos negócios.

A queima da palha da cana-de-açúcar durante a pré-colheita era uma prática comum, porém que ocasionava graves riscos à saúde pública e ao equilíbrio ambiental (PARAISO; GOUVEIA, 2015). Mas, com a mecanização e o aprimoramento das normativas ambientais, passou-se a buscar um aproveitamento integral dos subprodutos envolvidos no processo, como os materiais orgânicos: bagaço, palha, casca e torta de filtro. Assim, surge um grande interesse biotecnológico nesses resíduos, dentre os quais se destaca a torta de filtro, que apresenta elevada concentração de nutrientes e matéria orgânica (BONASSA et al., 2015).

Além disso, o aproveitamento da torta de filtro estende-se ao campo, onde tem demonstrado que sua aplicação ao solo pode trazer benefícios significativos para suas propriedades físicas, e contribuir com a produtividade das culturas, como o café (TORRES et al., 2021). Contudo, o manejo adequado da torta de filtro é fundamental para mitigar riscos de contaminação por metais pesados no solo. A gestão consciente e segura desse resíduo garante que seus nutrientes sejam reaproveitados de forma sustentável, maximizando o potencial agronômico sem comprometer a saúde ambiental. (RAMALHO; AMARAL, 2001).

Diante da perspectiva de aproveitamento, a cera da cana-de-açúcar tem se destacado como um composto lipídico de grande valor agregado. Encontrada na camada externa do colmo para proteger a planta contra a dessecação, a cera é

concentrada principalmente na torta de filtro durante a clarificação do caldo (WARTH, 1947). Taylor (2000) destaca que a transição do açúcar bruto para o uso como matéria-prima industrial tem se intensificado, o que reforça o potencial da cera como um insumo versátil para múltiplos segmentos industriais.

Quimicamente, a composição da cera é complexa formada por uma mistura de lipídios que incluem hidrocarbonetos, ésteres, ácidos graxos e alcoóis graxos de cadeias longas (O'KEEFE, 1998). Pesquisas indicam a presença de metabólitos menores, como cetosteroides e hidroxicetosteroides (GEORGES et al., 2006), bem como os aldeídos de cadeia longa que apresenta variações conforme a cultivar de cana analisada (ASIKIN et al., 2012). Essa diversidade química explica o crescente interesse comercial na extração e purificação desses compostos.(Paturau, 1989).

O policosanol obtido da cera da cana é, reconhecido por suas aplicações farmacêuticas, mas seu potencial vai além da área da saúde. Na indústria cosmética, a cera da cana- de -açúcar desempenha a função de agente emoliente e estruturante para produção de batons, cremes e loções, demonstrando uma alternativa natural comparada às ceras sintéticas ou derivadas de petróleo. Na área alimentícia, pode ser adotada como revestimento protetor para as frutas, como também embalagens biodegradáveis. Já na indústria química, serve como base para lubrificante e polidores especializados (LAGUNA GRANJA et al., 1999).

No campo da saúde, o policosanol tem sido estudado por seu desempenho na redução dos níveis de colesterol em pacientes com hipercolesterolêmico tipo II, obtendo resultados promissores em comparação com os tratamentos convencionais (ANEIROS et al., 1995; HERNANDEZ et al., 1995). Estudos demonstram que ele atua na biossíntese do colesterol do hepático (MENÉNDEZ et al., 1996) e também proporciona benefícios na agregação plaquetária, de forma isolada ou até mesmo em combinação com a aspirina (ARRUZAZABALA et al., 1996; 1997).

De acordo com estudos comparativos, revelam que sua tolerância e eficácia são competitivas frente a fármacos como a atorvastatina, lovastatina e o probucol, até mesmo em pacientes idosos ou com diabetes não insulinodependente (CASTAÑO et al., 2003; CRESPO et al., 1999; PONS et al., 1997; TORRES; AGRAMONTE, 1995).

Além do impacto em humanos, estudos apontam efeitos hipocolesterolêmicos em modelos animais, como suínos, reforçando o potencial biológico dos alcoóis da cera (CRUZ et al., 1991).

A fim de tornar possíveis essas aplicações clínicas e cosméticas, a um alto cuidado em procedimentos analíticos rigorosos, como a cromatografia gasosa capilar, desenvolvidas para determinar a presença de compostos específicos como o 1-octacosanol no plasma (BRAVO et al., 1996). O policosanol mostrou diminuir riscos coronários adicionais em pacientes hipercolesterolêmicos (MÁS et al., 1999). Todavia,a obtenção desses compostos com alta pureza depende do método de extração empregado.

Embora apresente vários benefícios, a extração eficiente desses lipídios ainda é um desafio técnico. Métodos clássicos, como o proposto por Bligh Dyer (1959), possibilitaram avanços na extração e purificação total dos lipídios em laboratório. Porém, a escala industrial requer processos mais sustentáveis e economicamente viáveis. A análise da estrutura da cera presente em resíduos de destilarias de rum, por exemplo, indica que a variabilidade do material de partida influencia diretamente o rendimento do processo e sua viabilidade econômica (NUISSIER et al., 2002).

Com o objetivo de otimização do processo, aplicam-se metodologias de superfície de resposta, que permitem determinar experimentalmente as melhores condições de processamento (THOMPSON, 1982). Diante das preocupações ambientais atuais, cresce a necessidade por métodos “verdes” incentivando a substituição dos solventes petroquímicos tóxicos. Rios et al. (2015) observaram- se que a busca por maior produção de lipídios em microalgas e outras fontes biológicas precisa estar ligada a técnicas de recuperação que diminuam os danos ambientais.

Diante desse contexto, o D-limoneno é um hidrocarboneto extraído a partir de cascas de cítricos, que se apresenta como um solvente orgânico verde muito promissor. Sua eficiência de extração de óleo de farelo de arroz é comprovada (MAMIDIPALLY; LIU, 2004) sendo considerada uma alternativa viável ao n-hexano na extração de lipídios totais em alimentos (VIROT et al., 2008). A utilização do D-limoneno não reduz apenas o impacto ambiental em relação à pegada do carbono,

mas também garante melhores condições de segurança ocupacional no ambiente de processamento.

Sob essa perspectiva, a tecnologia entre a agroindústria canavieira e a química verde proporciona a transformação de um resíduo em bioprodutos versáteis. Dessa forma, é importante que a utilização de solventes renováveis para extração da cera alinhe-se aos conceitos da bioeconomia, incentivando o aprimoramento de processos que são economicamente viáveis para setores de cosméticos e fármacos, além de contribuir com o meio ambiente de forma responsável.

1.1 Justificativa

A crescente demanda por práticas industriais mais sustentáveis tem impulsionado a busca por alternativas que promovam a redução de impactos ambientais e o uso eficiente de recursos naturais. No setor sucroalcooleiro, apesar de sua relevância econômica, há significativa geração de resíduos, como a torta de filtro, que, embora parcialmente utilizada, ainda apresenta potencial subexplorado para aplicações de maior valor agregado.

Nesse contexto, a valorização de subprodutos da cana-de-açúcar surge como uma estratégia promissora, permitindo a conversão desses materiais em insumos de interesse industrial. A extração de cera da torta de filtro destaca-se por possibilitar a obtenção de compostos com ampla aplicabilidade nas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia, agregando valor à cadeia produtiva e contribuindo para a economia circular.

Adicionalmente, os métodos convencionais de extração utilizam solventes orgânicos de alta toxicidade, o que reforça a necessidade de investigação de alternativas mais seguras e alinhadas aos princípios da química verde. Nesse sentido, o uso de solventes naturais, como o D-limoneno, apresenta-se como uma abordagem inovadora, com potencial para reduzir impactos ambientais sem comprometer a eficiência do processo.

Dessa forma, este trabalho justifica-se pela relevância ambiental, econômica e tecnológica, ao propor a avaliação de métodos de extração mais sustentáveis, contribuindo para o avanço científico e para o desenvolvimento de soluções aplicáveis ao setor industrial.

OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Avaliar os métodos de extração da cera da cana-de-açúcar, com ênfase no uso de solventes orgânicos verdes, destacando as vantagens técnicas, ambientais e econômicas da aplicação do D-limoneno.

2.2 Objetivos específicos

- Descrever a composição e as propriedades da cera da cana-de- açúcar com base na literatura científica;
- Apresentar os principais métodos de extração da cera utilizados na literatura;
- Comparar métodos convencionais e sustentáveis de extração;
- Analisar as vantagens do uso do ácido cítrico e do D-limoneno como solventes verdes;

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Cera da Cana-de-Açúcar: Origem, Composição e Contexto Agroindustrial.

O setor sucroenergético brasileiro tem se destacado por sua alta produtividade, o que gera grandes volumes de resíduos, que quando não são adequadamente aproveitados, podem causar impactos ambientais significativos. A torta de filtro é um subproduto obtido através da clarificação do caldo de cana, e é a principal matriz para o aproveitamento da cera bruta (ALVARENGA; QUEIROZ, 2009; TORRES et al., 2021). Do ponto de vista biológico, a cera protege a planta contra a perda de água e microrganismos patogênicos (ASIKIN et al., 2012).

A cera da cana de açúcar é uma mistura complexa de lipídios de cadeia longa, composta por alcoóis graxos primários, ésteres, ácidos graxos livres e hidrocarbonetos (O'KEEFE, 1998). A quantidade relativa desses componentes varia de acordo com a variedade genética da cana e o tipo de solo e o clima do local de cultivo (ASIKIN et al., 2012). Para além dos componentes majoritários, estudos relatam a presença de metabólitos secundários, como os cetosteroides, que demonstram atividades biológicas específicas (GEORGES et al., 2006).Do ponto de vista biológico. A cera protege a planta contra a perda de água e microrganismos patogênicos (ASIKIN et al., 2012).

O reaproveitamento da torta de filtro para extração de cera é uma oportunidade de "produção mais limpa", buscando a renovação de um resíduo em um bioproduto com maior valor industrial agregado (BONASSA et al., 2015). Ao longo do tempo, a cera da cana tem sido comparada às ceras de carnaúba e de abelha devido ao seu alto ponto de fusão e dureza (WARTH, 1947). Entretanto, os desafios estão relacionados à presença de impurezas, como pigmentos e resíduos minerais derivados do solo durante a colheita (RAMALHO; AMARAL, 2001).

Pesquisas mostram que a transição da colheita manual (com a queima) para a mecanizada influenciou a qualidade da cera nos resíduos, necessitando de novos estudos de caracterização (PARAISO; GOUVEIA, 2015). A composição química da cera confere-lhe uma hidrofobicidade elevada, sendo ideal para várias aplicações industriais, desde lubrificantes até revestimentos protetores (PATURAU, 1989). A

diversidade na composição de alcoóis como o octacosanol é um dos principais focos dos estudo (WADA, 2008).

A definição das propriedades físico-químicas da cera é necessária para identificar sua viabilidade comercial. Segundo Nuissier et al. (2002), a composição da cera pode ser modificada, até mesmo no processo de fermentação ou destilação nas usinas. Dessa forma, a complexibilidade dessa matriz orgânica requer métodos de especializados, como a cromatografia gasosa, para identificar frações de interesse (BRAVO et al., 1996).

O desenvolvimento do uso sustentável de recursos no setor sucroalcooleiro depende diretamente da integração das etapas de processo, onde cada resíduo é aproveitado ao seu ciclo econômico (TAYLOR, 2000). A torta de filtro é utilizada como uma fonte de cera, e também é aplicada constantemente como fertilizante, Como não é possível o uso desse resíduo para as duas finalidades ao mesmo tempo pode surgir uma certa competição ao destino desse recurso (TORRES et al., 2021).Em vista disso, a extração da cera antes da aplicação da torta no solo surge como uma solução de economia circular (BONASSA et al., 2015).

Diante desse contexto, a caracterização detalhada da cera bruta é a primeira etapa para melhor evolução de qualquer processo de extração eficaz. Estudos indicam que a cera clarificada e purificada exibe um valor significativamente maior que a cera bruta (ROZARIO, 2006). Entretanto, pesquisas brasileiras indicam que há necessidade de um processo de refino, que adotem reagentes menos agressivos e mais compatíveis com o princípio da conservação ambiental (WADA, 2008).

Por fim, a cera da cana-de-açúcar configura-se como uma alternativa às ceras de origem fóssil, contribuindo com as metas globais de descarbonização (TAYLOR, 2000).A valorização desse composto natural, não favorece apenas a indústria sucroalcooleira, mas também oferece uma matéria-prima sustentável para diferentes setores industriais de maior tecnologia (PATURAU, 1989). O progresso das técnicas de caracterização molecular tem permitido identificar novas atribuições para essas substâncias naturais (GEORGES et al., 2006).

3.2 Aplicações e Benefícios: Do Setor Farmacêutico à Biotecnologia

Do ponto de vista científico, a cera da cana-de-açúcar encontra-se na fração de alcoóis alifáticos primários de cadeia longa, nomeado comercialmente como policosanol (PATURAU, 1989). O policosanol vem ganhando destaque globalmente por sua eficiência em tratamento de hipercolesterolemia, contribuindo para a redução do colesterol LDL e no aumento do HDL (ANEIROS et al., 1995). Estudos clínicos revelam que o policosanol tem o perfil de segurança superior às estatinas sintéticas (HERNANDEZ et al., 1995; CASTAÑO et al., 2003).

Pesquisas apontam que, além de seu efeito lipídico, o policosanol inibe a agressão plaquetária, o que contribui para a prevenção de trombose e complicações cardiovasculares (ARRUZAZABALA et al., 1996). Essa atividade antiagregante apresenta desempenho comparável à da Aspirina, porém sem os efeitos negativos gástricos frequentemente associados aos anti-inflamatórios não esteroides (ARRUZAZABALA et al., 1997). Essas vantagens tornam a cera da cana uma matéria- prima de grande importância para a indústria farmacêutica internacional (LAGUNA GRANJA et al., 1999).

Em indivíduos com diabetes do tipo II, o uso do policosanol tem se mostrado eficiente e promissor na gestão de lipídios sem interferir no controle glicêmico (TORRES; AGRAMONTE; ILLNAIT, 1995). Alem disso, pesquisas com a população idosas também demonstraram elevada tolerabilidade ao composto, reforçando sua classificação como um nutracêutico de baixo risco (CASTAÑO et al., 2003). Seu mecanismo de ação envolve a modulação da síntese do colesterol do fígado (MENÉNDEZ et al., 1996).

Para além da saúde humana, a cera de cana também é explorada na indústria de cosméticos, na produção de batons, cremes e loções (WADA, 2008). A origem natural da cera atende a crescente demanda dos consumidores por produtos de base biológica e livres de derivados de petróleo (TAYLOR, 2000).

Na indústria alimentícia, a cera clarificada é utilizada como revestimento comestível em frutas e vegetais, diminuindo a taxa de respiração e aumentando a vida

útil dos alimentos (WADA, 2008). Essa utilização reduz o desperdício de alimentos em cadeias logísticas longas, a cera faz com que diminua a umidade e mantenha os frutos firmes por mais tempo (JORNAL DA UNICAMP, 2003).

Destaca-se ainda a utilização da cera como excipiente em sistemas de liberação controlada de fármacos. Devido a sua natureza hidrofóbica onde permite que o medicamento seja liberado de forma gradual no organismo, melhorando a eficiência do tratamento (LAGUNA GRANJA et al., 1999). Alguns Patentes descrevem o uso de misturas de alcoóis da cera de cana para várias finalidades farmacológicas (LAGUNA GRANJA et al., 1999).

A análise dos dados disponíveis durante os últimos anos revela que a pureza da cera é um fator importante para sua aplicação farmacêutica. A obtenção de cera com teores elevados de policosanol requer um processo de extração e purificação refinados (ROZARIO, 2006). Atualmente, a lacuna tecnológica procura desenvolver métodos de purificação que não faça o uso de solventes tóxicos (WADA, 2008).

A eficiência na recuperação de alcoóis de cadeia longa, como o octacosanol, é essencial para a viabilidade econômica da extração de policosanol (MÁS et al., 1999). Pesquisas realizadas em modelos animais indicam que mesmo em doses baixas de policosanol extraído de ceras são capazes de diminuir significativamente o colesterol sérico (CRUZ; MEDEROS; MÁS, 1991). Evidenciando a eficiência de mercado global para esse bioproduto.

Dessa forma, conclui-se que os benefícios da cera da cana vão além do seu material imediato, destacando-se como uma solução biotecnológica multifuncional (TAYLOR, 2000). Com a crescente busca por uma bioeconomia em substituição do petróleo, torna-se necessário desenvolver práticas sustentáveis para a obtenção de compostos como o policosanol (ROZARIO, 2006). Nesse contexto, este trabalho propõe avaliar o uso do d-limoneno como alternativa para a extração desses compostos.

3.3 Métodos de Extração e a Inovação dos Solventes Verdes (D-Limoneno)

A obtenção de lipídios e cera de matrizes vegetais tem sido realizada através de solventes orgânicos derivados de petróleo, sendo o n-hexano utilizado como padrão de extração devido ao seu baixo ponto de ebulição e a alta seletividade para compostos apolares (BLIGH; DYER, 1959). Entretanto, o hexano é considerado como neurotóxico e poluente atmosférico perigoso o que incentivou a busca por alternativas mais seguras (VIROT et al., 2008). A química verde sugere a substituição desses solventes por opções biodegradáveis e de baixa toxidade (GREEN EXTRACTION, 2012).

Diante das alternativas atuais, a extração com fluidos supercríticos (CO^2) destaca-se pela pureza do produto obtido, porém financeiramente os equipamentos tornam o processo difícil de ser implementado em larga escala nas usinas (ROZARIO, 2006). A obtenção por solventes orgânicos renováveis passa a exibir uma solução mais equilibrada entre custos e sustentabilidade (ICC CITRUS, 2026). Diante desse cenário, o D-limoneno, que é um subproduto da casca de frutas cítricas, ganha importância (MAMIDIPALLY; LIU, 2004).

O D-limoneno é um “ solvente verde” que apresenta características de solubilidade muito semelhante ao do n-hexano para compostos lipídicos (VIROT et al., 2008). A isenção dos padrões de solubilidade de Hansen apresenta que o limoneno possui afinidade molecular adequada para a dissolução de certas cadeias longas (HANSEN SOLUBILITY, 2023). A origem do D-limoneno se dá a partir da casca de laranja conectando duas grandes cadeias agroindustriais: sucroalcooleira e o setor de citros.

Estudos científicos, mostram que o D-limoneno pode substituir o hexano e, também elevar o rendimento de extração da cera, mas deve se atentar às condições de temperatura (Rios et al, 2022). A aplicação de limoneno na extração de farelo de arroz mostrou resultados eficazes, servindo de base para uso na torta de filtro (MAMIDIPALLY; LIU, 2004). O maior benefício é que o D-limoneno trata-se de um solvente alimentício, o que tende a facilitar a aprovação regulatória dos produtos obtidos por meio de sua utilização.

Todavia, a aplicação de solventes verdes necessita de critérios para parâmetros operacionais como o tempo, temperatura e razão solvente-soluto (THOMPSON, 1982). A utilização de ácido cítrico em combinação com solventes verdes tem sido investigada para auxiliar na quebra de interações entre a cera e as fibras contidas na torta de filtro, contribuindo para a liberação dos lipídios (Sartori, 2015). Essa abordagem sinérgica pode reduzir o consumo energético do processo.

A revisão da literatura demonstra que uma das principais limitações ligadas à utilização do D-limoneno, está relacionada à sua remoção final ao processo, tendo em vista que seu ponto de ebulição é superior ao do hexano (VIROT et al., 2008). Além disso, experimentos sobre a evaporação e sistema de vácuo têm demonstrado que é possível a recuperação do solvente para reutilização, preservando a integridade da cera (Sousa, 2023). A eficiência na recuperação do solvente é base fundamental para a viabilidade econômica do processo.

O método de extração de ceras também pode ser afetado pelo estado físico da torta de filtro, pois o seu teor de umidade pode impactar o processo de extração (Sousa, 2023). Etapas como secagem da amostra e moagem da torta de filtro, são de suma importância para maximizar a área de contato do solvente com a matriz sólida. A extração de lipídios com o uso do D-limoneno em diferentes matrizes de origem natural, ressaltando sua capacidade de aplicação (RIOS et al., 2015).

O uso do D-limoneno na extração da cera de cana-de- açúcar com a finalidade de se obter o policosanol, é um campo de estudo pouco explorado no Brasil em comparação com os solventes tradicionais normalmente usados (Rios et al., 2022). A maior parte das pesquisas acadêmicas ainda se concentra no uso do hexano, muitas vezes por convenção metodológica, deixando pouco explorado o potencial sustentável do D-limoneno (WADA, 2008). Assim, este trabalho busca analisar a viabilidade dessa substituição.

De modo geral, o progresso dos métodos de extração caminha na evolução que se utiliza biomassa para extrair biomassa (ICC CITRUS, 2026). O d-limoneno é considerado um solvente verde promissor para a extração de produtos naturais (GREEN EXTRACTION, 2012). A integração entre os setores sucroenergético e setor de citross pode favorecer um novo modelo sustentável de produção de bioprodutos (TAYLOR, 2000).

METODOLOGIA

4.1 Preparo das amostras da cana-de-açúcar

Primeiramente, a cana de açúcar foi descascada, as folhas e as cascas foram cortadas em pequenos pedaços e levados a uma estufa a 105 C, depois de secas as folhas foram trituradas no moinho de facas, e a casca em uma forrageira já que a casca é mais resistente, a torta de filtro também foi seca macerada manualmente.

Figura 1- Casca e palha da cana-de-açúcar cortada e encaminhada para secagem em estufa (a) e a palha sendo triturada no moinho de facas (b).



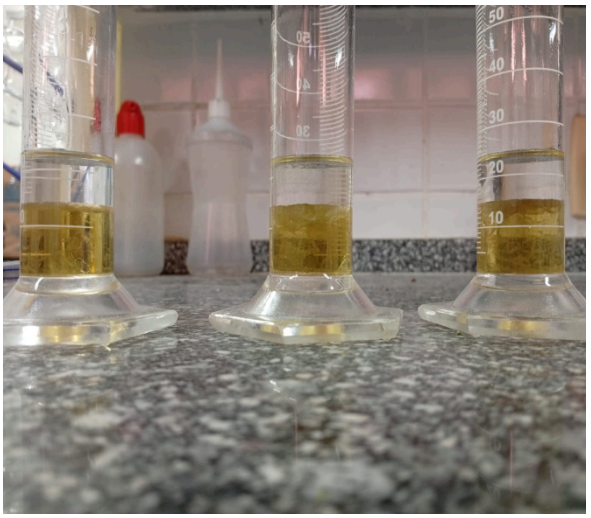
Fonte: Autoria própria. 2026

4.2 Método de Folch

O método de Folch consiste em uma extração a frio, onde ocorre uma mistura dos solventes clorofórmio e metanol na, proporção de (2:1 junto com a amostra). Foram realizados dois experimentos, um com as amostras *in natura* e outro com as amostras secas. Na primeira determinação de gordura, foram utilizadas as amostras *in natura*, onde as amostras foram previamente pesadas, e trabalhadas em duplicata. Foi pesado cerca de cinco gramas de cada amostra (folha e casca da cana de açúcar). Após as amostras serem pesadas foram adicionados cerca de 30 mL dos solventes clorofórmio: metanol, em cada amostra. Essa mistura (amostra + solvente) foi agitada com um bastão de vidro de 2 a 3 minutos. Logo após a mistura,

todo o conteúdo do recipiente foi filtrado, em um papel filtro qualitativo, em uma proveta de 100 mL. Em seguida, o sistema foi tampado e anotado o volume final do extrato final da proveta. Logo em seguida foi adicionado 20% do volume final do extrato lido na proveta, de solução de sulfato de sódio a 1,5% foi agitado e deixado separar em fases, mantendo a proveta fechada.

Figura 2- Separação de fases durante a extração



Fonte: autoria própria, (2026).

A fase superior deve estar com aproximadamente 40% e a inferior 60%, de volume. Tendo isso como base, foi anotado o volume da fase inferior e o volume da fase superior foi succionado com uma pipeta graduada e descartado. Em seguida foi tomado uma alíquota de 5 mL do extrato (fase inferior) com uma pipeta volumétrica, e transferido para um béquer previamente tarado. Os béqueres com as alíquotas foram levados para a estufa a 105 ºC por cerca de 30 minutos para evaporar a mistura de solventes. Após retirados da estufa, e resfriado em um dessecador, os béqueres foram pesados.

Foi utilizada a seguinte equação de determinação de gordura:

$$\left(Lipídeos\frac{g}{100g} = \frac{pbéquercomlípideos - pbéquerxVinf}{Pesodaamostrax V_{aliquota}} X100\right) \text{(I)}$$

Onde:

$$Pbéquercomlipídios = pesodobéquercomlipídio$$

$$Pbéquer = pesodobéquer$$

$$Vinf = Volumedafaseinferior$$

$$Valiquota = Volume\ Da\ Alíquota\ Do\ Extrato$$

4.3 Goldfish

O segundo método utilizado foi o método pela extração de gordura do Goldfish, onde foi realizada a determinação com as amostras de (folhas, cascas e a torta de filtro) preparadas. As amostras foram secadas em uma estufa a 105°C. A determinações foram realizadas em duplicata, onde foram pesados cerca de 3 a 5 g das amostras em um cartucho de Goldfish, previamente preparados com o papel filtro e algodão figura 1. Após a pesagem, os cartuchos foram preenchidos com algodão até cobrir as amostras. As vidrarias do tipo Reboiler previamente preparada e seca na estufa a 105 ºC por no mínimo 2 horas e resfriadas no dessecador em média de 30 minutos, foram pesadas e em seguida os cartuchos foram colocados dentro dos extratores do Goldfish. Os extratores foram conectados aos frascos do tipo reboiler e adicionado 100 mL dos solventes utilizados durante a pesquisa (éter de petróleo, hexano, ácido cítrico e d limoneno) a amostra fica submersa no reagente o que facilita na extração lipídica dentro de uma cesta haste.

Os conjuntos foram conectados ao condensador. Em seguida, a chapa foi ligada e o aquecimento foi mantido por cerca de 4 horas. Após o término das extrações a chapa aquecedora foi desligada e parte do solvente recuperado (éter de petróleo). Os frascos reboiler foram levados à estufa a 105 ºC por 1 hora. Então os frascos foram retirados e levados ao dessecador para resfriar e realizar a pesagem.

$$Lipídeos(\%) = \frac{PLx100}{P} \text{ II}$$

Onde:

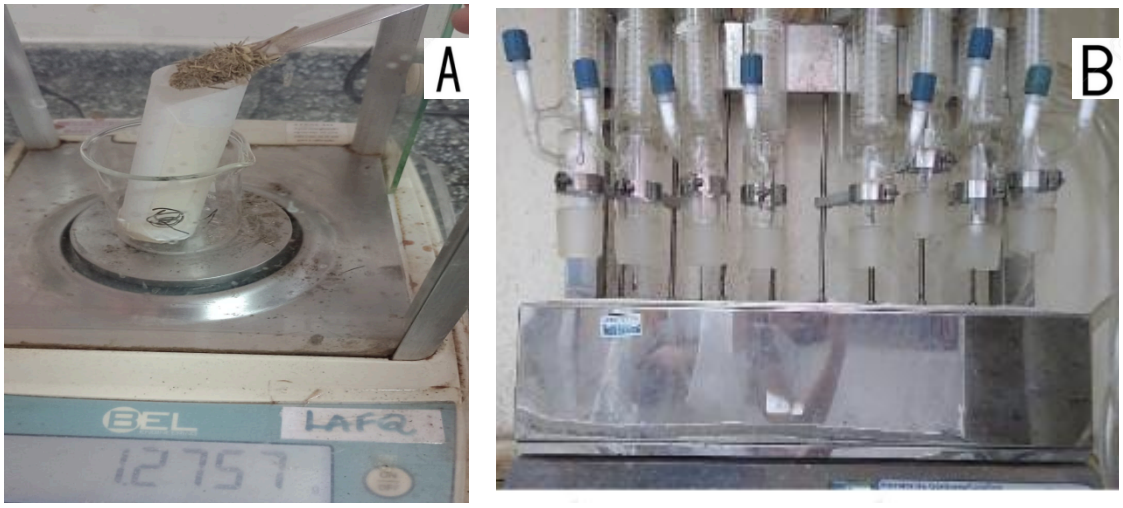
$$PL = pesodobalãocomlipídeos - pesodobalãovazio$$

$$P = pesodaamostra$$

$$\frac{\Sigma SomadosProdutos}{QuantidadedeAmostras} \quad \text{III}$$

Onde: rendimento médio da extração da cera, de forma quantitativa

Figura 3- Pesagem da amostra (a); Equipamento de extração (Goldfish) (b).



Fonte: autoria própria, 2026.

RESULTADOS

Avaliação do Método de Folch e a Matriz Vegetal

Inicialmente, buscou-se aplicar o método de Folch (extração a frio) para a recuperação de lipídios em amostras de palha e casca de cana-de-açúcar Diferente do desempenho satisfatório observado por Brum et al. (2009) em matrizes de aveia (6,9%) e frango (1,6%), os resultados para a biomassa de cana (casca e palha da cana) foram insignificantes (0%).

Essa diferença ocorre devido à natureza química das ceras cuticulares da cana-de-açúcar. Enquanto lipídios de origem animal ou sementes oleaginosas estão mais livres na matriz, as ceras vegetais são compostas por misturas complexas de álcoois de cadeia longa e ácidos graxos que permanecem sólidos à temperatura

ambiente. Conforme discutido por Brum et al. (2009), a extração a frio preserva a qualidade contra oxidação, mas carece da energia térmica necessária para fundir a cera e permitir sua solubilização. Portanto, o método de Folch mostrou-se inviável para a extração de cera bruta nessas biomassas. Em contrapartida, ao aplicar o mesmo método à torta de filtro, obteve-se um rendimento de 3,61%, conforme apresentado na tabela 1:

Tabela 1 - Rendimento médio utilizando método de extração Folch

Torta de filtro	3,61%

Fonte: autoria própria, 2026.

Este resultado superior, comparado à palha e casca, deve-se ao fato da torta ser um resíduo industrial já processado, onde o esmagamento mecânico rompe parcialmente as barreiras estruturais, facilitando a liberação lipídica mesmo em condições menos energéticas.

Eficiência Comparativa: Solventes Convencionais no Método Goldfish

Em virtude das limitações do método a frio, empregou-se o sistema Goldfish. Este método assemelha-se ao Soxhlet por manter o sedimento médio da extração da cera de forma quantitativa sob aquecimento e refluxo contínuo, porém com maior rapidez operacional.

Extração na Palha de Cana

Os resultados da extração na palha (Tabela 4) evidenciaram que o Hexano (5,0%) superou o Éter de Petróleo (3,4%).

Tabela 2 - Rendimento médio utilizando reagentes a 100% utilizando a palha como resíduo para extração.

Reagentes	**Rendimento lipídico**
Hexano	5,0%
Éter de Petróleo	3,4%

Fonte: autoria própria, 2026.

A superioridade do hexano é atribuída à sua seletividade química. Por ser um hidrocarboneto de cadeia linear e apolar, o hexano possui maior afinidade com os álcoois primários da camada cuticular da palha. Além disso, a alta difusividade do hexano permitiu vencer a barreira física imposta pela lignina, penetrando de forma.

Mais eficaz nas paredes celulares do tecido vegetal seco. O éter de petróleo, por sertterpênicos uma mistura de hidrocarbonetos alifáticos, apresentou menor eficiência de arraste durante as 4 horas de ciclo.

Extração na Torta de Filtro

Na torta de filtro, ambos os solventes (Hexano e Éter de Petróleo) atingiram rendimento idêntico de 9,3% (Tabela 5).

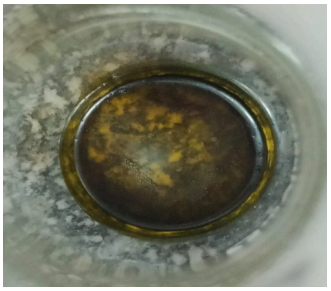
Tabela 3 - Rendimento médio utilizando reagentes a 100% utilizando a torta de filtro como resíduo para extração.

Reagentes	**Rendimento lipídico**
Hexano	9,3%
Éter de Petróleo	9,3%

Fonte: autoria própria, 2026.

Essa equivalência demonstra que, nesta matriz, a seletividade do solvente é menos crítica do que na palha, devido a dois fatores: Porosidade da matriz e acessibilidade lipídica. Quanto à porosidade, a torta é um resíduo granular e poroso, o que facilita a percolação e o fluxo contínuo do solvente no sistema Goldfish, eliminando barreiras físicas à extração. Em relação a acessibilidade Lipídica: o processamento industrial prévio (moagem e clarificação) desestruturou a biomassa, deixando as ceras em um estado mais "exposto" ou desordenado. Diferente da palha, onde a extração é limitada pela difusão interna, o solvente precisa entrar na fibra, na torta de filtro o processo é controlado pela solubilidade, permitindo que ambos os solventes alcancem a saturação máxima de forma homogênea.

Figura 4- Amostra extraída com Éter de petróleo



Fonte: autoria própria, 2026.

Embora esses solventes demonstrem eficiência na extração de cera, o trabalho propõe uma mudança mais sustentável e menos tóxica. Dessa forma foram utilizados solventes verdes como, ácido cítrico e D-limoneno com o intuito de substituir totalmente ou parcialmente os solventes tradicionais.

Proposta de Solventes Verdes: D-limoneno e Ácido Cítrico

Explorando alternativas sustentáveis e menos tóxicas ao hexano, foram testados o d-limoneno e o ácido cítrico. A utilização de 100% d-limoneno mostrou-se inviável devido ao seu alto ponto de ebulição (aprox. 176°C), o que resultou na degradação térmica (queima) das amostras. Para contornar este problema, foram testadas misturas binárias apresentadas na tabela 4 e 5.

Tabela 4 - Rendimento médio utilizando reagentes verdes, com diferentes proporções para a torta de filtro.

Reagentes	**Rendimento lipídico**
100% d-limoneno	-
30% d-limoneno +70% hexano	11,5%
80% hexano + 20% d-limoneno	-

Fonte: autoria própria, 2026.

Tabela 5 - Rendimento médio utilizando reagente verde utilizando a palha como resíduo para extração.

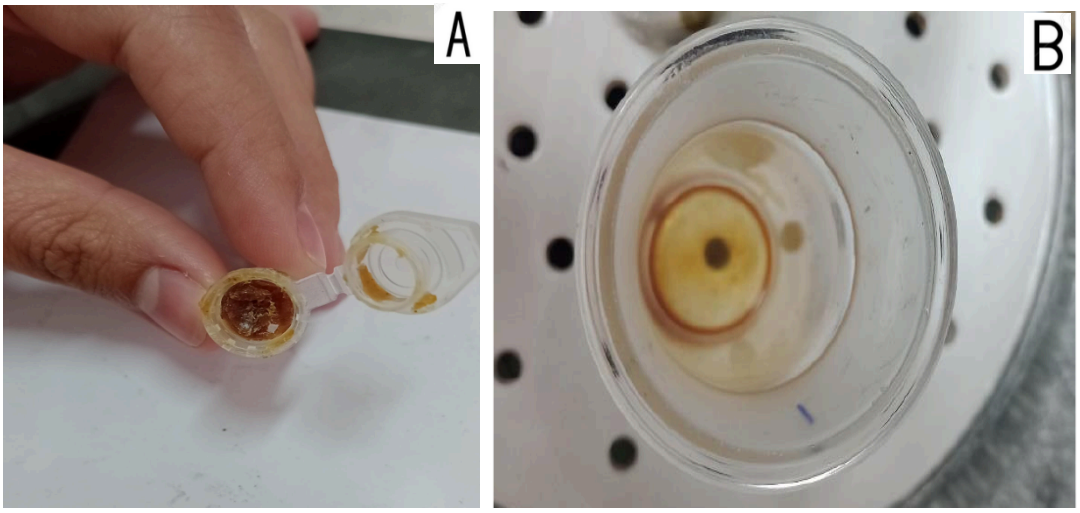
Reagentes	**Rendimento lipídico**
100% d-limoneno	-
30% d-limoneno +70% hexano	7,7%
80% hexano + 20% d-limoneno	-

Fonte: autoria própria, 2026.

A mistura de 30% d-limoneno e 70% hexano apresentou os melhores resultados do estudona torta e na palha, superando inclusive o hexano puro (11,5% contra 9,3% na torta e 7,7% contra os 5% na palha).

O D-limoneno, mesmo em menor proporção, atuou aumentando o poder de solvatação da mistura, Essa proporção permitiu que o sistema operasse em temperaturas seguras, e não causasse a queima da biomassa.

Figura 5 - Proporção de 30% d-limoneno +70 hexano (Torta de filtro) (a); Proporção de 30% d-limoneno e 70% hexano (Palha) (b).



Fonte: autoria própria, 2026.

Em contrapartida, o ácido cítrico mostrou-se totalmente inviável como extrator de gordura demonstrado na figura 6. Por ser uma molécula altamente polar e triprotônica, ele possui repulsão química aos lipídios (apolares) e não apresenta a volatilidade necessária para circular no sistema Goldfish. Sob o aquecimento de 4 horas, o ácido atuou apenas como catalisador de hidrólise, degradando as fibras de celulose e invalidando a extração. Assim, conclui-se que a substituição parcial por solventes terpênicos (D-limoneno) é a rota mais eficiente, aliando sustentabilidade a um ganho real de produtividade industrial.

Figura 6 - Amostra extraída 100% ácido cítrico



Fonte: autoria própria, 2026.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, o método de extração Folch teve um baixo desempenho para extração de lipídios, o que o torna pouco eficiente ou inviável, enquanto o extrator de Goldfish, por ser um método com aquecimento, demonstrou melhor eficiência, reforçando a possibilidade de substituir solventes tradicionais de origem fóssil por solventes de origem verde. Ao longo dos resultados obtidos, o D-limoneno apresentou-se como uma possibilidade promissora para a extração de cera de cana-de-açúcar, porém, o presente trabalho demonstrou que, utilizando o método de Goldfish, não seria possível a extração sem a mistura com o hexano devido ao seu alto ponto de ebulição; por isso, sugere-se para trabalhos futuros a utilização do rotaevaporador com sistema de vácuo, que permite a remoção de solventes sob temperaturas reduzidas, preservando a integridade dos álcoois graxos de cadeia longa e evitando a degradação térmica dos metabólitos da cera para assegurar a qualidade final necessária às aplicações clínicas e industriais. Cabe ressaltar que este método potencial, identificado como o mais viável e eficiente, não pôde ser integralmente realizado, pois o equipamento encontrava-se inoperante e a recuperação da avaria necessária não chegou a tempo para a conclusão desta etapa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R. P.; QUEIROZ, T. R. **Produção mais Limpa e Aspectos Ambientais na Indústria Sucroalcooleira.** In: Key elements for a sustainable world: energy, water and climate change, 2009.

ANEIROS, E. et al. **Effect of policosanol in lowering cholesterol levels in patients with type II hypercholesterolemia.** Current Therapeutic Research, v. 56, n. 7, p. 296-304, 1995.

ARRUZAZABALA, M. L. et al. **Comparative study of policosanol, aspirin and the combination therapy policosanol-aspirin on platelet aggregation in healthy volunteers.** Pharmacological Research, v. 36, n. 4, p. 293-297, 1997.

ARRUZAZABALA, M. L. et al. **Effect of policosanol successive dose increases on platelet aggregation in healthy volunteers. Pharmacological Research**, v. 34, n. 5-6, p. 181-185, 1996.

ASIKIN, Y. et al. Wax, **Policosanol, and long-chain aldehydes of different sugarcane (Saccharum officinarum L.)** cultivars. European Journal of Lipid Science and Technology, Weinheim, v. 114, p. 583-591, 2012.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. **A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology,** v. 37, n. 8, p.911-917, 1959.

BONASSA, G. et al. **Subprodutos Gerados na Produção de Bioetanol: Bagaço, Torta de Filtro, água de Lavagem e Palhagem.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 4, p. 144-166, 2015.

BRAVO, L. G. et al. **Analytical procedure for the determination of 1-octacosanol in plasma by solvent extraction and capilary gas chromatography.** Journal of Chromatography B, n. 682, p. 359-363, 1996.

CASTAÑO, G. et al. **Comparison of the efficacy and tolerability of policosanol with atorvastatin in elderly patients with type II hypercholesterolemia.** Adis International, v. 20, n. 2, p. 153-163, 2003.

CHEMA, F.; Vian, M. A. **Green Extraction of Natural Products: Concept and Principles.** PMC, 2012. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3430255/. Acesso em: 11 mar.2026.

CRESPO, N. et al. **Comparative study of the efficacy and tolerability of policosanol and lovastatin in patients with hypercholesterolemia and noninsulin dependent diabetes mellitus. International Journal Clinical Pharmacologic Research,** v. 4, n. 19, p. 117-127, 1999.

CRUZ, B. D.; MEDEROS, C. M.; MÁS, R. **Efecto hipocolesterol mico del Ateromixol (PPG) en el cerdo en ceba.** Revista CENIC de Ciencias Biológicas, v. 22, p. 62-63, 1991.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2023.

GEORGES, P. et al. **Ketosteroids and hydroxyketosteroid minor metabolites of sugar cane wax.** Steroids, v. 71, 2006.

HANSEN **Solubility Parameters Applied to the Extraction.** PMC, 2023. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10459436/. Acesso em: 11 mar. 2026.

HERNANDEZ, F. et al. **Effect of policosanol on serum lipids and lipoproteins in healthy volunteers. Current Therapeutic Research,** v. 51, p. 568-575, 1995.

ICC CITRUS. **D-Limonene as a Green Solvent: Applications and Benefits.** 2026. Disponível em: https://icccitrus.com/d-limonene-as-a-green-solvent-applications-and-benefits/. Acesso em: 11 mar.2026.

LAGUNA GRANJA, A. et al. **Mixture of higher primary aliphatic alcohols, its obtention from sugar cane wax and its pharmaceutical uses.** U. S. Patent 5.856.316, 1999.

MAMIDIPALLY, P. K.; LIU, S. X. **First Approach on Rice Bran Oil Extraction using Limonene. European Journal of Lipid Science and Technology, Weinheim,** v. 106, p. 122-125, 2004.

MÁS, R. et al. **Effects of policosanol in pacients with type II hypercholesterolemia and additional coronary risk factors.** Clinical Pharmocological Therapeutic, v. 65, n. 4, p. 439-447, 1999.

MENÉNDEZ, R.; AMOR, A. M.; GONZALEZ, R. M. **Effect of policosanol on the hepatic cholesterol biosynthesis of normocholesterolemic rats.** Biological Research, v. 29, n. 2, p. 253-257, 1996.

NUISSIER, G. et al. **Composition of sugarcane waxes in rum factory wastes. Phytochemistry,** v. 61, p. 721-726, 2002.

O'KEEFE, S. F. **Nomenclature and classification of lipids. In: AKOH, C.; MIN, D. B. Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology.** New York: MarcelDekker, 1998. p. 1-36.

PARAISO, M. L. S.; GOUVEIA, N. **Health risks due to pre-harvesting sugarcane burning in São Paulo State, Brazil.** Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 18, n. 3, p. 691-701, jul./set. 2015.

PATURAU, J. M. **By-products of the Cane Sugar Industry.** New York: Elsevier

PESQUISA produz cera extraída de subproduto da cana. Jornal da Unicamp, Campinas, ano 17, n. 233, p. 5, 20-26 out. 2003. Disponível em: https://unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/outubro2003/ju233pag05a.html. Acesso em: 26 mar. 2026.

PONS, P.; ILLNAIT, J.; MÁS, R. **A comparative study of policosanol versus probucol in patients with hypercholesterolemia.** Current Therapeutic Research, v. 58, n. 1, p. 26-35, 1997.

Publishing Company, 1989.

RAMALHO, J. F.; AMARAL, S. N. M. **Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais.** Revista Floresta e Ambiente, v. 8, n. 1, jan./dez. 2001.

RIOS, L. F. et al. **Nitrogen Starvation for Lipid Accumulation in the Microalga Species Desmodesmus sp.** Applied Biochemistry and Biotechnology, p. 469-476, 2015.

RIOS, L. F. et al. **Sugarcane wax extraction using hexane and limonene mixtures.** Revista Engenharia na Agricultura - REVENG, Viçosa, v. 30, p. 13-18, fev. 2022. DOI: 10.13083/reveng.v30i1.13241. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358750892_Sugarcane_wax_extraction_using_hexane_and_limonene_mixtures. Acesso em: 26 mar. 2026.

ROZARIO, C. H. R. **Desenvolvimento de um processo para a obtenção de policosanol a partir de cera de cana-de-açúcar (Saccharum officinarum).** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

SARTORI, J. A. DE S.; MAGRI, N. T. C.; AGUIAR, C. L. DE. **Clarificação de caldo de cana-deaçúcar por peróxido de hidrogênio: efeito da presença de dextrana.** Brazilian Journal of Food Technology, v. 18, p. 299–306, 2015.

SOUSA, J. M. S. **Avaliação da umidade da massa expandida e comportamento reológico.** 2023.

TAYLOR, A. K. **From raw sugar to raw materials. Chemical Innovations,** p. 45-48, nov. 2000.

THOMPSON, D. R. **Response surface experimentation. Journal of Food Processing and Preservation**, v. 6, n. 3, p. 155-188, 1982.

TORRES, J. L. R. et al. **Aplicação de torta de filtro de cana-de-açúcar na culturado café e relações de atributos físicos do solo.** Revista em Agronegócio e Meio Ambiente (RAM), v. 14, n. 2, 2021.

TORRES, O.; AGRAMONTE, A. J.; ILLNAIT, J. **Treatment of hypercholesterolemia in NIDDM with policosanol. Diabetes Care,** v. 18, n. 3, p.393-397, 1995.

VIROT, M. et al. **Total Lipid Extraction of Food Using d-Limonene as an Alternative to n-Hexane.** Chromatographia, Wiesbaden, v. 68, p. 311-313, 2008.

WADA, J. K. A. **Processo simplificado para obtenção de policosanol a partir de cera de canade-açúcar clarificada e purificada**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) –Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

WARTH, A. H. **The Chemistry and Technology of Waxes.** New York: ReinoldPublishing Corporation, 1947.