



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE POLIESTIRENO PARA PRODUÇÃO
DE VERNIZ USANDO O SOLVENTE D-LIMONENO**

Estudante:

Iracema José Pereira Bernardo

Supervisor:

Prof. Doutor Jonas Valente Matsinhe, Eng.º

Maputo, Dezembro de 2024



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE POLIESTIRENO PARA PRODUÇÃO
DE VERNIZ USANDO O SOLVENTE D-LIMONENO**

Estudante:

Iracema José Pereira Bernardo

Supervisor:

Prof. Doutor Jonas Valente Matsinhe, Eng.º

Maputo, Dezembro de 2024



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que a estudante **Iracema José Pereira Bernardo** entregou no dia ___/___/2024 as _____ cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referência: _____, intitulado: **Aproveitamento de Resíduos de Poliestireno para Produção de Verniz Usando o Solvente D-Limoneno.**

Maputo, aos ___ de _____ de 2024

A Chefe da Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro por minha honra que este trabalho nunca foi apresentado, na sua essência, para a obtenção de qualquer grau académico, e que constitui o resultado da minha investigação pessoal, estando indicadas no texto e nas referências bibliográficas as fontes que utilizei para a elaboração do mesmo.

Maputo, Dezembro de 2024

A Autora

(Iracema José Pereira Bernardo)

DEDICATÓRIA

Em memória de Maria José Adélia Francisco, minha mãe, a mulher mais forte que tive a oportunidade de conhecer. Me ensinou a sonhar, andar, falar, ouvir e a amar e fez questão de desde cedo me ensinar o valor da educação. Nós conseguimos, mãe!

Suas lembranças permanecem vivas e se tornam luz nos dias mais escuros.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Fortunato Bernardo e Maria José Francisco (em memória). Pai, com muito esforço criou-me, educou-me e proporcionou-me a oportunidade de me formar. Espero um dia retribuir todo esforço e espero que aquisição deste grau lhe faça sentir tanto orgulho quanto eu sinto de si.

Aos meus irmãos, Edson Bernardo, Shelton Bernardo, Erick Bernardo e Elaine Bernardo, minha profunda gratidão pelo apoio incondicional que me deram ao longo desta jornada académica. Pelas palavras de incentivo para que jamais desistisse do meu sonho e por sempre acreditarem em mim.

Ao meu namorado, Mateus Nkanhalole, que tem sido um companheiro incansável e um modelo de determinação e foco. Seu amor, paciência e apoio me deram forças para seguir e enfrentar com coragem cada desafio ao longo desta jornada. Busquei ser sempre a melhor versão de mim graças a tua influência. Minha eterna gratidão.

Aos meus colegas e amigos, em especial ao MULTIFUNCIONAL (Akavale Ngunga, Elton Chiziane, Gonçalo Machatine, Humberto Tandane, Iara Mente, João Matos, Nízio Francisco, Óscar Mabote e Sífia Rapulua) por compartilhar conhecimento e muitas gargalhadas que aliviaram o peso das dificuldades. Um agradecimento especial a Akavale e a Iara, que dividiram as diversas experiências, emoções e frustrações que a faculdade trouxe.

Ao meu professor e supervisor, Dr. Jonas Valente, que se mostrou disposto e disponível para orientar e auxiliar e que contribui directamente para a realização deste trabalho. Gostaria de estender os meus sinceros agradecimentos.

Por fim, agradeço a Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, que, durante cinco anos tornou-se minha segunda casa, e a todos os professores, por transmitirem, com muita dedicação ensinamentos essenciais para a formação de engenheiro excelente.

RESUMO

O uso do plástico está ligado a graves problemas ambientais devido à sua longa permanência em lixeiras e aterros sanitários, já que os resíduos plásticos demoram muito tempo para se decompor. Por outro lado, o descarte em massa de cascas de laranja também pode causar impactos ambientais, mas seu aproveitamento na indústria química, especialmente na extração de compostos como o D-Limoneno, oferece uma alternativa sustentável e economicamente viável. Nesse contexto, o verniz à base de resíduos de poliestireno e óleo de casca de laranja surge como uma solução promissora para reduzir os impactos ambientais, diminuindo o descarte de poliestireno e cascas de laranja em aterros sanitários. O presente trabalho tem como objectivos aproveitar de resíduos de poliestireno para a produção de verniz usando o solvente à base de casca de laranja, sintetizar o solvente D-Limoneno à partir de cascas de laranja, sintetizar o verniz a partir da mistura de poliestireno e D-Limoneno e avaliar os parâmetros de qualidade do verniz. A metodologia usada baseou-se no planeamento estatístico de misturas, onde foi produzido verniz, com composição constante de 0.5 g de poliestireno expandido e 1, 2 e 3 ml do D-Limoneno extraído da casca da laranja. Os resultados indicam que a quantidade média de óleo D-Limoneno obtida foi de 2.98 ml a partir de 200 g de cascas de laranja misturadas com 300 ml de água, com tempo de colecta média por ensaio de 2 horas e 22 minutos. O verniz resultante possui aspecto turvo e com cheiro do D-Limoneno. Após a avaliação, constatou-se que uma amostra de 1 ml de óleo e 0.5 g de poliestireno expandido apresentou a composição ideal, com um tempo de secagem de 16.18 minutos, densidade de $4.01 \frac{gg}{cm^3}$, absorção de água de 2.4% e teor de

não-voláteis de 17.16%. O verniz, além de oferecer protecção excepcional e acabamento impecável, foi formulado com componentes que minimizam os impactos ambientais, tornando-o uma escolha mais ecológica e responsável. O verniz à base de poliestireno contribui para a redução dos impactos ambientais negativos associados a esse material, pois sua utilização possibilita a reciclagem e posterior aplicação na construção civil, agregando valor às infraestruturas e prolongando sua vida útil.

Palavras-chave: Polistireno expandido, D-Limoneno, reciclagem, destilação, cascas de laranja, verniz.

ABSTRACT

The use of plastic is linked to serious environmental problems due to its long permanence in dumps and landfills, since plastic waste takes a long time to decompose. On the other hand, the mass disposal of orange peels can also cause environmental impacts, but its use in the chemical industry, especially in the extraction of compounds such as D-Limonene, offers a sustainable and economically viable alternative. In this context, varnish based on polystyrene waste and orange peel oil emerges as a promising solution to reduce environmental impacts, reducing the disposal of polystyrene and orange peels in landfills. This work aims to take advantage of polystyrene waste for the production of varnish using the solvent based on orange peel, synthesize the solvent D-Limonene from orange peels, synthesize the varnish from the mixture of polystyrene and D-Limonene and evaluate the quality parameters of the varnish. The methodology used was based on the statistical planning of mixtures, where varnish was produced, with a constant composition of 0.5 g of expanded polystyrene and 1, 2 and 3 ml of D-Limonene extracted from the orange peel. The results indicate that the average amount of D-Limonene oil obtained was 2.98 ml from 200 g of orange peels mixed with 300 ml of water, with an average collection time per trial of 2 hours and 22 minutes. The resulting varnish has a cloudy appearance and smells of D-Limonene. After the evaluation, it was found that a sample of 1 ml of oil and 0.5 g of expanded polystyrene presented the ideal composition, with a time of 16.18 minute drying, $4.01 \frac{g}{cm^3}$ density, 2.4% water absorption and water content non-volatiles of 17.16%. The varnish, in addition to offering exceptional protection and impeccable finish, has been formulated with components that minimize environmental impacts, making it a more environmentally friendly and responsible choice. Polystyrene-based varnish contributes to the reduction of negative environmental impacts associated with this material, as its use enables recycling and subsequent application in civil construction, adding value to infrastructures and extending its useful life.

Keywords: Expanded polystyrene, D-Limonene, recycling, distillation, orange peels, varnish.

ÍNDICE

1. Introdução	1
1.1. Objectivos	2
1.1.1. Geral	2
1.1.2. Específicos	2
1.2. Descrição do problema	2
1.3. Justificativa	3
1.4. Metodologia	3
2. Revisão Bibliográfica	6
2.1. Poliestireno	6
2.1.1. Tipos de poliestireno	7
2.2. Aproveitamento de resíduos da casca de laranja	14
2.2.1. Definição e caracterização do D-Limoneno	16
2.2.2. Métodos de extracção de D-Limoneno	18
2.2.3. Comparação entre os métodos de extracção de D-Limoneno	22
2.3. Vernizes	22
2.4. Parâmetros de qualidade	25
2.4.1. Densidade	25
2.4.2. Absorção de água	26
2.4.3. Teor de não-voláteis	26
3. Materiais e métodos	28
3.1. Materiais	28
3.2. Metodologia da parte experimental	28
3.2.1. Extracção do D-Limoneno	29
3.2.2. Dissolução do Poliestireno	31
3.2.3. Determinação dos parâmetros da qualidade	32
4. Resultados e discussão	35
4.1. Extracção do Limoneno	35
4.2. Dissolução do Poliestireno	36
4.3. Determinação dos parâmetros da qualidade	37
4.3.1. Determinação do tempo de secagem	37

4.3.2. Determinação de densidade.....	37
4.3.3. Determinação de absorção de água.....	38
4.3.4. Teor de não-voláteis	39
5. Conclusões e Recomendações	41
5.1. Conclusões	41
5.2. Recomendações	42
Referências bibliográficas	43
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Áreas de aplicação do poliestireno expandido reciclado mecanicamente (Fonte: (M. F. B. da Silva, 2021)).	12
Tabela 2: Características físico-químicas do D-Limoneno (Fonte: (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2018)).	17
Tabela 3: Técnicas de extracção de limoneno da casca da laranja (Fonte: Adaptado de (Alves, 2022)).	22
Tabela 4: Lista de materiais e equipamentos	28
Tabela 5: Proporções de poliestireno expandido e limoneno.	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Formula estrutural do poliestireno. Fonte: Poliestireno (PS) (Elias Augusto Soares, 2021).....	6
Figura 2: Poliestireno cristal ou <i>standard</i> (Fonte: Polibalbino Group, 2023).....	7
Figura 3: Poliestireno de Alto Impacto (Fonte: Goodfish, 2023)	8
Figura 4: Poliestireno expandido (Fonte: The Foam Company)	8
Figura 5: Formas de reciclar o poliestireno. Fonte: Adaptado de (Hattori, 2015)	14
Figura 6: Constituição da laranja. Fonte: (Adewale George Adeniyi, 2022).....	15
Figura 7: Fórmula estrutural do D-Limoneno (Fonte: (Alves, 2022)).....	16
Figura 8: Fluxograma do processo de hidrodestilação (Fonte: Adaptado de (Alves, 2022)).	18
Figura 9: Sistema de hidrodestilação (Fonte: (Sartor, 2009)).	19
Figura 10: Sistema industrial de destilação por arraste à vapor (Fonte: (Cassel e Vargas, 2006)).	20
Figura 11: Sistema de extracção por solventes orgânicos (Fonte: (Sartor, 2009)).	21
Figura 12: Ilustração de placas de madeira (A) danificadas por mofo e fungos causadas por humidade (Fonte: Reforma Casa de Madeira (2018); (B) com protecção de verniz (Fonte: Como escolher a cor e o tipo de verniz para madeira? 2018)).....	24
Figura 13: Diagrama de fluxo de produção de verniz	29
Figura 14: Alguns materiais usados (A-Cascas da laranja e B-Balão de 500ml)	29
Figura 15: Ensaio laboratorial do processo de destilação.....	30
Figura 16: A- Destilado na ampola de decantação. B-Óleo extraído.	30
Figura 17: Pesagem do poliestireno expandido.....	31
Figura 18: Aplicação do verniz em madeira.....	32
Figura 19: Amostras de madeira em água.....	33
Figura 20: Amostra de verniz produzido.	34
Figura 21: Extracção do óleo D-Limoneno.	35
Figura 22: Imagem ilustrativa da dissolução do EPS no D-Limoneno com 2, 1 e 3 ml.	36
Figura 23: Tempo de secagem do verniz sobre a madeira.....	37
Figura 24: Densidade do verniz a base de EPS e D-Limoneno.....	38
Figura 25: Índice de absorção de água pela madeira.....	39

Figura 26: Teor de não-voláteis do verniz à base de EPS e D-Limoneno. 40

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

min: minuto.

h: hora.

g: grama.

ml: mililitro.

*cm*³: centímetro cúbico.

$\frac{gg}{mol}$: grama por mol.

$\frac{gg}{cm^3}$: grama por centímetro cúbico.

$\frac{kgg}{m^3}$: kilograma por metro cúbico.

$\frac{kgg}{l}$: kilograma por litro.

$\frac{kggf}{m^2}$: kilograma força por metro quadrado.

$\frac{mgg}{l}$: miligrama por litro.

^oC: graus celsius.

%: percentagem.

Pa: Pascal.

P : Pressão.

PS: Poliestireno.

EPS: Poliestireno expandido.

CD: Disco compacto do inglês *Compact Disc*.

DVD: Disco Digital Versátil do inglês *Digital Versatile Disc*.

GPPS: Poliestireno de Uso Geral do inglês *General Purpose Polystyrene*.

1. INTRODUÇÃO

O poliestireno é um polímero termoplástico sintético, naturalmente transparente, derivado do monômero de estireno. À temperatura ambiente, este material se apresenta como um sólido, porém, quando aquecido acima dos 100 °C, torna-se maleável, e ao esfriar, recupera sua rigidez. Além disso, é insolúvel em água (Smith et al., 2018). Apesar do senso comum sugerir o contrário, o poliestireno é totalmente reciclável. No entanto, o alto custo do processo de reciclagem muitas vezes torna essa prática inviável, especialmente devido ao grande volume ocupado pelo poliestireno expandido (Jones e Brown, 2019). Uma alternativa viável é a dissolução do material em solventes orgânicos, como o D-Limoneno, que reduz drasticamente seu volume sem afectar as cadeias poliméricas, resultando em uma redução significativa nos custos de reciclagem (Garcia et al., 2020).

Neste contexto, propõe-se neste trabalho um método de reciclagem do poliestireno utilizando o solvente natural D-Limoneno, extraído da casca de laranja, para a produção de verniz. O objectivo é diminuir o descarte deste material em aterros sanitários. Os vernizes desempenham um papel crucial na preservação de diversos tipos de madeira, protegendo-os contra deterioração. Além do aspecto de proteção, os vernizes também conferem um aspecto estético aos artigos, como portas, janelas e móveis.

O D-Limoneno é um hidrocarboneto cíclico insaturado, um líquido incolor, volátil e oleoso, encontrado naturalmente em frutas cítricas. Sua utilização como solvente é vantajosa, pois além de ser biodegradável, é menos prejudicial ao meio ambiente em comparação com outros solventes (Silva e Oliveira, 2019).

Este trabalho propõe a formulação de um verniz à base de poliestireno e D-limoneno, dois materiais que, apesar de possuírem alto valor comercial, são frequentemente descartados em aterros sanitários. A formulação desse verniz começa com a extracção do D-limoneno a partir das cascas de laranja. Em seguida, o poliestireno, é dissolvido no D-limoneno para criar o verniz. Por fim, são avaliados os parâmetros de qualidade do produto final para assegurar que ele atenda aos padrões exigidos e ofereça uma alternativa ecológica e eficiente aos vernizes tradicionais.

1.1. OBJECTIVOS

Devido a relevância académica, bem como ambiental, foram definidos os seguintes objectivos, a saber.

1.1.1. Geral

Estudar o aproveitamento de resíduos de poliestireno para a produção de verniz usando o solvente a base de casca de laranja.

1.1.2. Específicos

De modo a satisfazer o objectivo geral, foram definidos os seguintes objectivos específicos:

- Sintetizar o solvente D-Limoneno a partir de cascas de laranja;
- Sintetizar verniz a partir da mistura de poliestireno e D-Limoneno;
- Determinar os parâmetros de qualidade do verniz produzido.

1.2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A utilização de plásticos está associada aos problemas ambientais significativos devido à sua acumulação contínua nas lixeiras e aterros sanitários, dado que os resíduos plásticos levam muito tempo para se degradar no ambiente. (Webb et al., 2013)

Embora a estatística referente a gestão de resíduos sólidos seja limitada no nosso país, estima-se que Maputo produz um total de 1000 toneladas de resíduos sólidos todos os dias, das quais cerca de metade é supostamente recolhida pelo município. Na zona urbana, os resíduos recolhidos contêm em peso, 68% de matéria orgânica, 10% de plásticos. Na zona suburbana, mais da metade dos resíduos consiste em terra e poeira e a outra parte é constituído por 69% de resíduos orgânicos e 9% plásticos (Tvedten et al., 2015).

O poliestireno, que faz parte dos resíduos de plástico, leva muito tempo para se decompor no meio ambiente e não é facilmente reciclado devido ao seu baixo peso e seu baixo custo, por isso é considerado um poluente quando é descartado de forma inadequada no meio ambiente.

As cascas de laranja, apesar de seu potencial valor, frequentemente representam um problema ambiental significativo quando são descartadas em grande escala. Seu acúmulo contribui para o volume de resíduos orgânicos em aterros sanitários, onde sua decomposição lenta pode gerar emissões de gases de efeito estufa e problemas de gestão de resíduos. Sem uma gestão adequada, essas cascas podem aumentar a pressão sobre os sistemas de resíduos e contribuir para a poluição.

1.3. JUSTIFICATIVA

Por um lado, o crescimento demográfico associado a concentração populacional nas principais áreas urbanas traduziu-se num consequente aumento da produção de resíduos, tornando cada vez mais urgente a adopção de soluções respeitantes à sua gestão. Por outro lado, o uso de revestimentos decorativos em todo o mundo tem sido impulsionado por novas construções, particularmente em mercados emergentes onde a aquisição de residências e empreendimentos comerciais estão em constante crescimento.

A gestão eficiente dos resíduos, ao transformar subprodutos e materiais descartados em recursos valiosos, contribui significativamente para a diminuição da poluição, a preservação dos recursos naturais e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Além de proteger o meio ambiente, essa abordagem promove a economia circular, estimulando a inovação e a criação de novas indústrias e mercados.

O verniz a base de resíduos de poliestireno, constitui um meio alternativo para reduzir os impactos ambientais negativos causados pelo poliestireno, pois pode ser viável, no sentido de ser um meio de reciclar e posteriormente empregá-lo no revestimento da madeira, agregando valor as infraestruturas através do aumento da sua vida útil.

1.4. METODOLOGIA

Para a execução do presente trabalho irá se observar uma sequência de passos bem definidos de modo a se atingir os objectivos propostos. Desta forma, o presente trabalho terá quatro (4) principais etapas: (1) Revisão bibliográfica, (2) Recolha da amostra, (3) Trabalho laboratorial e (4) Elaboração do relatório final.

- **Revisão bibliográfica**

A revisão bibliográfica consistirá na sistematização de informações sobre a composição e propriedades físico-química, aplicações, processo produtivo e processo de reciclagem do poliestireno. Serão sistematizadas também as informações sobre os métodos de extracção do solvente D-Limoneno à partir de cascas de laranja, sua definição e caracterização. Além disso, serão abordados tópicos relacionados aos vernizes e parâmetros de avaliação da sua qualidade.

- **Recolha da amostra**

As amostras poliestireno e as cascas de laranja serão recolhidas nos mercados da cidade de Maputo. As tábuas de madeira necessárias para testar a qualidade do verniz serão adquiridas nas Oficinas da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

- **Trabalho laboratorial**

O trabalho laboratorial consistirá na preparação da casca da laranja que depois será misturada com água e submetida a destilação de modo a obter o solvente D-Limoneno. Feito isso, as amostras de poliestireno deverão ser higienizadas para que se comece o processo de produção de verniz. Essa produção consiste na dissolução do poliestireno no solvente extraído, em proporções diferentes, até que sejam identificadas as proporções óptimas. Para isso serão feitos os seguintes testes de qualidade:

- Absorção de água;
- Tempo de Secagem;
- Densidade;
- Teor de não-voláteis.

As análises foram realizadas no laboratório do Departamento de Engenharia Química da Universidade Eduardo Mondlane.

- **Elaboração do relatório final**

O relatório final, que é a última etapa, consistirá na compilação das informações colhidas na revisão bibliográfica e os dados obtidos pelas experiências laboratoriais realizadas,

para que, após a análise e discussão dos mesmos, conclusões possam ser identificadas e relatadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. POLIESTIRENO

Segundo Amianti (2005), o poliestireno (PS) pertence ao grupo das resinas termoplásticas, que inclui, entre outros, os polietilenos (de alta densidade, baixa densidade e baixa densidade linear), o polipropileno (PP), o policloreto de vinila (PVC) e o politereftalato de etileno (PET).

Tal como o nome sugere, o poliestireno é derivado da polimerização do monómero de estireno. O estireno, cujo nome sistemático é etenilbenzeno, é hoje um dos produtos químicos mais amplamente fabricados, com uma produção anual de cerca de 35 milhões de toneladas e um crescimento de cerca de 5% ao ano (Baker, 2018). Ele é obtido através do etilbenzeno hidrogenado, que por sua vez é derivado do benzeno e do eteno, que reagem na presença de cloreto de alumínio. Pode-se também obter o estireno pelo processo de produção de óxido de propeno, no qual o estireno é subproduto (Amianti, 2005).

O poliestireno é um material derivado do petróleo mais conhecido na sua forma expandida. É empregue como um isolante térmico e eléctrico e na fabricação de objectos plásticos (Bacelar et al., 2010). É um termoplástico transparente que pode ser facilmente colorido. As cadeias de poliestireno são mantidas unidas por forças de van der Waals, que permitem que as cadeias poliméricas deslizem facilmente umas sobre as outras, produzindo um material flexível e elástico (Baker, 2018).

Quimicamente, o poliestireno consiste de dois elementos, o carbono e o hidrogénio, representados esquematicamente na figura abaixo:

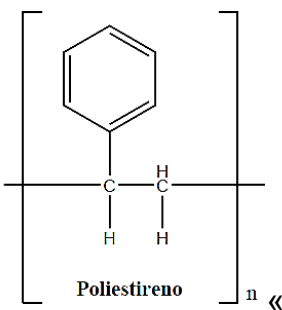
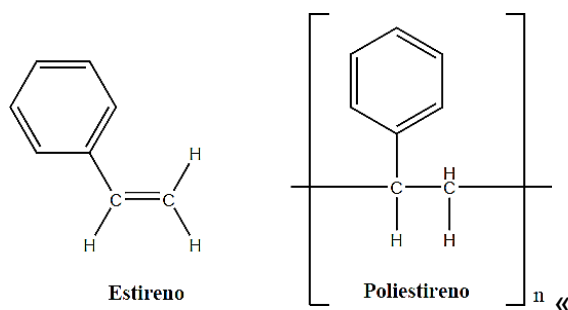


Figura 1: Formula estrutural do poliestireno. Fonte: Poliestireno (PS) (Elias Augusto Soares, 2021).

2.1.1. Tipos de poliestireno

Segundo Montenegro e Serfaty (2002), o poliestireno é comercialmente vendido em três (3) formas ou tipos, a saber:

- 1) **Cristal ou *Standard***: Como ilustrado em Figura 2, possui como características principais a transparência, o alto brilho e a fácil coloração (pela adição de agentes corantes). É frágil, com boa estabilidade dimensional e propriedades de isolamento elétrico. As principais aplicações são nas embalagens de alimentos, copos descartáveis, brinquedos, materiais de escritório e caixas de CDs e DVDs.



Figura 2: Poliestireno cristal ou *standard* (Fonte: Polibalbino Group, 2023).

- 2) **Poliestireno de Alto Impacto (HIPS)**: Ilustrado em Figura 3, possui como características a boa resistência ao impacto e ao alongamento. É um poliestireno modificado com elastômeros de polibutadieno e é obtido pela polimerização de uma solução de estireno-butadieno. Contém borracha, tornando-o menos frágil, mais opaco e mais resistente ao impacto do que o GPPS. É amplamente utilizado na fabricação de produtos que necessitam de maior durabilidade, como brinquedos, utensílios domésticos, carcaças de eletrodomésticos, peças automotivas e componentes eletrônicos (Thomas Staff, 2015).



Figura 3: Poliestireno de Alto Impacto (Fonte: Goodfish, 2023).

3) Poliestireno Expandido (EPS): É uma espuma rígida obtida por meio da expansão da resina PS durante a sua polimerização, tal como ilustra a Figura 4. Essa expansão é realizada injectando-se um agente químico na fase de reacção da polimerização. As principais aplicações são na protecção de embalagens e no isolamento térmico. Conforme Soeira (2019), o poliestireno expandido, conhecido também como esferovite ou isopor, é composto por 98% de ar e 2% de poliestireno.



Figura 4: Poliestireno expandido (Fonte: The Foam Company).

De acordo com (Baker, 2018; Thomas Staff, 2015) o EPS possui diversas vantagens e características, destacando-se as seguintes:

- **Baixa condutividade térmica:** Sua estrutura de células fechadas, preenchidas com ar, dificulta a passagem do calor, conferindo ao EPS excelente poder isolante.
- **Resistência à temperaturas extremas:** O EPS pode ser exposto a baixas temperaturas sem limites; sua temperatura mínima de uso é a de liquefação dos gases dentro das células. Entretanto, como outros plásticos, possui um limite superior de exposição ao calor, que varia conforme o tempo e as cargas aplicadas. Em exposições muito curtas, pode suportar temperaturas acima de 100 °C, mas em condições prolongadas e com cargas elevadas, o limite cai para 80 à 85 °C.
- **Baixo peso específico:** As densidades variam em torno de $9 \frac{kg}{m^3}$, podendo alcançar mais de $40 \frac{kg}{m^3}$. Mais de 97% de seu volume é composto por ar.
- **Alta resistência mecânica:** O EPS possui uma elevada resistência à compressão, que geralmente varia entre $7000 \frac{kgf}{m^2}$ e $14000 \frac{kgf}{m^2}$.
- **Baixa absorção de água:** O EPS não é higroscópico, absorvendo apenas pequenas quantidades de água, mesmo quando imerso. Essa característica garante a manutenção de suas propriedades térmicas e mecânicas, mesmo em ambientes húmidos.
- **Difusão de vapor de água:** O EPS é permeável ao vapor de água, o que permite a difusão deste pelas envoltórias dos edifícios, sendo uma propriedade importante para a construção.
- **Resistência ao envelhecimento:** As propriedades do EPS permanecem inalteradas ao longo de sua vida útil, que pode ser tão longa quanto a da construção onde está inserido. Estima-se que o EPS tenha uma durabilidade de 150 à 200 anos na natureza.
- **Resistência química:** O EPS é compatível com a maioria dos materiais comuns na construção civil, como cimento, gesso, cal e água.
- **Comportamento microbiológico:** O EPS não apodrece, não embolora, não é solúvel em água e não libera substâncias no ambiente. É totalmente inócuo, não

servindo como substrato ou alimento para o desenvolvimento de animais ou microrganismos.

2.1.1.1. Processo de obtenção do poliestireno expandido

Segundo Amianti et al. (2005), para a sua obtenção, o PS é submetido a um processo de transformação física, não alterando as suas propriedades químicas. Esta transformação processa-se em três (3) etapas, a saber:

- 1) **A pré-expansão:** A expansão do PS é efectuada numa primeira fase num pré-expansor através de aquecimento por contacto com vapor de água. O agente expansor incha o PS para um volume cerca de 50 vezes maior do que o original. Daí resulta um granulado de partículas de EPS constituídas por pequenas células fechadas, que é armazenado para estabilização.
- 2) **O armazenamento intermediário:** O armazenamento é necessário para permitir a posterior transformação do EPS. Durante esta fase de estabilização, o granulado de EPS arrefece o que cria uma depressão no interior das células. Ao longo deste processo o espaço dentro das células é preenchido pelo ar circundante.
- 3) **A moldagem:** O granulado estabilizado é introduzido em moldes e novamente exposto a vapor de água, em uma câmara hermeticamente fechada onde se aplica o vácuo. As cápsulas expandem-se e moldam-se ao recipiente em que foram colocadas e como este recipiente está sob calor, suas esferas expandidas aderem-se umas às outras, formando um objecto leve, com relativa dureza e com uma grande quantidade de ar.

2.1.1.2. Problemática ambiental do EPS

A problemática ambiental associada ao EPS existe devido a várias razões interconectadas, dando destaque à dificuldade de reciclagem, já que, esta, é limitada por diversos factores. O volume do EPS é grande em comparação ao seu peso, o que torna o transporte para centros de reciclagem economicamente inviável. Além disso, a contaminação por alimentos e outros resíduos dificulta ainda mais o processo de reciclagem. Como resultado, uma grande quantidade de EPS acaba em aterros sanitários ou no meio ambiente (K. J. Saunders, 1988).

Além disso, o EPS não é biodegradável, o que significa que pode levar centenas de anos para se decompor naturalmente. Durante esse período, o EPS pode se fragmentar em microplásticos, que são partículas extremamente pequenas e persistentes no ambiente. Esses microplásticos são difíceis de remover e representam uma ameaça contínua para o meio ambiente, oceanos e praias, e vida selvagem (Hameed e Talib, 2018).

Por outro lado, durante a produção e degradação do EPS, pode haver emissão de estireno, uma substância potencialmente tóxica. A exposição ao estireno tem sido associada a problemas de saúde em humanos, incluindo irritação respiratória, efeitos no sistema nervoso central e possível carcinogenicidade (Thomas Staff, 2015).

Em resumo, a problemática ambiental do EPS é complexa e multifacetada, exigindo uma abordagem integrada que inclua melhorias na reciclagem, no desenvolvimento de alternativas ecológicas e na implementação de políticas regulatórias para mitigar seus impactos negativos no meio ambiente.

2.1.1.3. Reciclagem do poliestireno expandido

Conforme Hawerorth e Pietrobelli (2019) o poliestireno expandido, por ser resistente, possui uma lenta degradação, assim, é necessário que o seu descarte seja feito de modo a criar o menor número de danos ao meio ambiente e às espécies que nele habitam.

Apesar de muito útil, o poliestireno é um material não biodegradável que leva séculos a decompor-se e liberta partículas minúsculas no solo e na água.

Uma das formas de aproveitar a esferovite, antes que a mesma prejudique o ambiente, é fazendo a reciclagem do material. Esta pode ser feita, de acordo com o destino final, de três (3) formas, a saber:

- **Reciclagem mecânica**

Esta é a forma mais comum de reciclagem e permite que resíduos poliméricos sejam reaproveitados como fonte de matéria-prima na cadeia produtiva através de métodos tradicionais de processamento, de forma que os materiais finais apresentem características similares ou superiores às aquelas observadas nos materiais poliméricos

virgens, tidos como produtos de partida no processo de reuso dos plásticos (M. F. B. da Silva, 2021)¹.

Esta reciclagem compreende, essencialmente, 4 fases: (1) Controle de qualidade: após a recolha do poliestireno expandido é necessário que se garanta que o mesmo não possua contaminantes; (2) Compactação: feita para que se retire o ar do produto, facilitando o manuseio e transporte; (3) Moagem: reduz-se o produto em partes menores para que possa ser passado à última fase e (4) Extrusão: onde o material é moldado no perfil desejado.

Tabela 1: Áreas de aplicação do poliestireno expandido reciclado mecanicamente
(Fonte: (M. F. B. da Silva, 2021)).

Área	Descrição
Segurança	Usado, pela resistência ao impacto, no fabrico de Equipamentos de Protecção Individual (EPI).
Construção civil	Minimiza gastos de energia gerados pelo uso de ar condicionado, uma vez que, por ser um bom isolante térmico, proporciona uma agradável temperatura ambiente.
Arquitectura e decoração	Usado como peça de decoração e usado também para fabricar itens como molduras de janelas, rodapés e rodetectos.

O poliestireno expandido, após ser reciclado mecanicamente, pode ser usado em áreas voltadas à segurança, construção civil e arquitetura e decoração como ilustrado na Tabela 1.

¹ Citado em SPINACE, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. Química Nova, São Paulo, v.28, n.1, p.65-72, 2005

- **Reciclagem energética**

O poliestireno expandido, nesta reciclagem, é usado devido ao seu alto poder calorífico, podendo servir para a produção de energia térmica (Salisu e Maigari, 2022).

- **Reciclagem química**

A reciclagem química, usando o método de dissolução, é feita em 5 etapas: (1) preparação do material: a esferovite é triturada para que haja maior área de transferência; (2) adição de solvente; (3) filtragem de impurezas: para que sejam retirados os polímeros ou impurezas que não reagiram com o solvente; (4) adição de um anti solvente: para que haja precipitação do polímero que reagiu e (5) filtração e secagem do polímero precipitado: para a recuperação da matéria polimérica.

Muitas vezes os custos de reciclar estes produtos inviabilizam este processo, principalmente por conta do alto volume que os resíduos de poliestireno ocupam e por isto, a alternativa de dissolução do material em solventes aromáticos, que fazem com que o volume diminua em quase 100 vezes sem degradar as cadeias poliméricas, causando uma redução dos custos associados ao processo e um polímero reciclado de alta qualidade, é recomendada (Soeira, 2019).

Para a reciclagem do EPS, é necessária a fusão ou o tratamento com solventes para reduzir o volume e para ser remodelado posteriormente, conforme ilustrado na Figura 5. O processo de fusão é simples, mas provoca alguma degradação química e não pode evitar a degradação da qualidade do PS original, pelo que o tratamento com solventes é, em muitos aspectos, mais desejável para um sistema de reciclagem eficaz. Embora existam vários solventes para PS, por exemplo, hidrocarbonetos, halogenetos de alquila, aromáticos, ésteres e cetonas, os solventes à base de petróleo não são favoráveis ao ambiente global. O D-Limoneno, que é um componente dos óleos cítricos, foi derivado do conceito acima, e é um pioneiro dos solventes naturais para EPS. Ultimamente, a reciclagem de EPS usando D-Limoneno tem sido realizada em uso prático com uma escala semi-industrial, no entanto, a casca correspondente a, aproximadamente, 1000 laranjas é necessária para extrair 100 ml de D-Limoneno. Com exceção do D-Limoneno, há poucos relatos sobre os solventes naturais para EPS (Hattori, 2015).

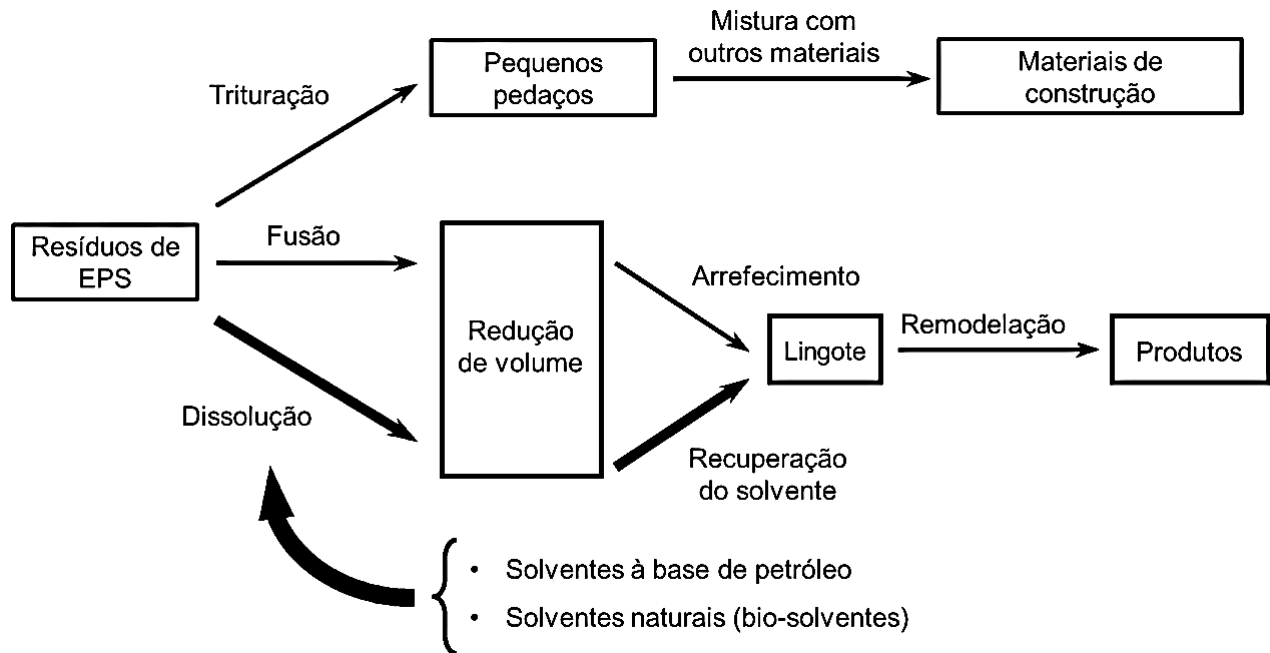


Figura 5: Formas de reciclar o poliestireno. Fonte: Adaptado de (Hattori, 2015).

2.2. APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CASCA DE LARANJA

A laranja é uma das culturas de citrinos mais populares do mundo. O fruto é composto por diversas vesículas de suco protegidas por uma película de cera, a casca. É na casca que estão as substâncias responsáveis pelo aroma e pela cor da fruta. Já a parte comestível é composta por segmentos que possuem vesículas de suco, além de sementes. Este fruto tem vários compostos saudáveis, como a vitamina C, o ácido fólico e os antioxidantes. Shahbandeh (2023) estimou que, no período de 2022/2023, a produção mundial de laranja alcançou 47.77 milhões de toneladas, resultando em altos volumes de resíduos sólidos pós-consumo, o que sublinha a necessidade de implementação de medidas de reaproveitamento desses resíduos, uma vez que o uso eficiente dos mesmos culmina em uma gestão sustentável e produção mais limpa (L. A. S. da Silva et al., 2020).

A laranja, ilustrada em Figura 6, tal como todas as frutas cítricas, é dividida em duas (2) partes: pericarpo e sementes. O pericarpo é subdividido em três partes: (1) **Epicarpo**: Também chamado de flavedo/casca, contém os óleos essenciais e pigmentos e pode ser de cor alaranjada ou verde, dependendo da espécie; (2) **Mesocarpo**: parte branca,

aderida à parte interna do flavedo, que possui um alto teor de fibras de alta porosidade e (3) **Endocarpo**: parte interna que contém o resíduo da polpa e as membranas.

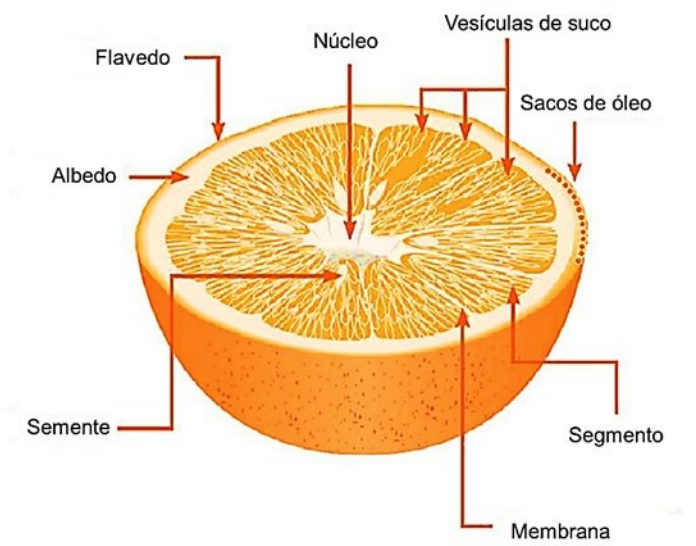


Figura 6: Constituição da laranja. Fonte: (Adewale George Adeniyi, 2022).

Actualmente, os resíduos de casca de laranja são depositados em aterros, produzindo grandes quantidades de emissões de gases com efeito de estufa com uma elevada carência química de oxigénio. Assim, têm sido estudadas formas inovadoras de utilizar e valorizar este resíduo para mitigar os danos ambientais causados pelos resíduos de origem animal e promover a sustentabilidade da cadeia de valor dos citrinos a nível regional, nacional e mundial.

As cascas de laranja podem ser reaproveitadas nas seguintes aplicações industriais: (1) produção de carvão activado (Fernandez et al., 2014); (2) produção de carvão vegetal (Suarez-Velázquez et al., 2022); (3) fabricação de fármacos e suplementos (Rafiq et al., 2018); (4) extracção de óleos essenciais usados na preparação de cosméticos (Brick, 2022) e produtos alimentares (L. A. S. da Silva et al., 2020).

Os óleos essenciais das cascas de laranja, até então reportados, possuem, em maior quantidade, o composto químico D-Limoneno (Geraci et al., 2017), este que possui propriedades aromatizantes (Conceição Da Silva et al., 2022).

2.2.1. Definição e caracterização do D-Limoneno

O D-Limoneno é uma substância química, orgânica, natural, pertencente à família dos terpenos, classe dos monoterpenos, de fórmula molecular $C_{10}H_{16}$ (4-isoprenil-1-metil-ciclohexeno), representado esquematicamente pela figura abaixo:

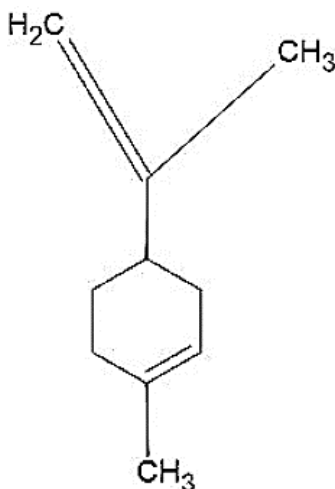


Figura 7: Fórmula estrutural do D-Limoneno (Fonte: (Alves, 2022)).

O D-Limoneno é um hidrocarboneto cíclico insaturado, trata-se de um líquido incolor, volátil e oleoso encontrado naturalmente em frutas cítricas como a laranja e o limão. O $C_{10}H_{16}$, que é um líquido lipofílico com odor cítrico, encontrado em muitos óleos, como óleos cítricos e terebintina, apresenta grande interesse comercial devido as suas diversificadas aplicações, principalmente, no mercado de fragrâncias e, mais recentemente, como um bio-solvente. Sua principal fonte de obtenção são os resíduos cítricos gerados pelo processamento de frutas, especialmente, a laranja (Nikfar e Behboudi, 2014) e (Conceição Da Silva et al., n.d.).

O D-Limoneno é utilizado em grande escala como solvente orgânico e, no que diz respeito a dissolução do poliestireno expandido, assume papel de destaque pois dissolve a mesma quantidade de resíduos de esferovite que outros solventes orgânicos, com um custo menor (M. F. B. da Silva, 2021)².

² Citado em HEARON, K. et al. A High-Performance Recycling Solution for Polystyrene Achieved by the Synthesis of Renewable Poly (thioether) Networks Derived from d-Limonene. *Advanced Materials*, v.26, p.1552-1558, 2014.

As principais características físico-químicas deste líquido encontram-se resumidas na Tabela 2.

Tabela 2: Características físico-químicas do D-Limoneno (Fonte: (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2018)).

Massa molar ($\frac{g}{mol}$)	136.23
Ponto de ebulição (°C)	178
Ponto de fusão (°C)	-74
LogP	4.2
Ponto de fulgor (°C)	48
Densidade relativa à água, solubilidade à 25°C	0.84
Temperatura de autoignição (°C)	237
Pressão de vapor (Pa)	199.98
Solubilidade ($\frac{mg}{l}$)	7.57

Estudos mostraram que o D-Limoneno tem a capacidade de dissolver colesterol, cálculos biliares, pode actuar como agente contra a azia e um quimioprotector contra diversos tipos de cancro. O D-Limoneno é considerado uma molécula de baixa toxicidade para humanos, visto que mesmo com altas dosagens por até um ano não foi observado formação de neoplasias ou anormalidades no tecido gastrointestinal. Outras aplicações do D-Limoneno estão associadas à área alimentar, servindo como aditivo na fabricação de rebuçados, na síntese de outros compostos químicos, como solvente para resinas e tintas (Pires et al., 2018).

2.2.2. Métodos de extracção de D-Limoneno

De acordo com Santiago et al. (2020); Silva Filho (2022) e Silveira et al. (2012) os processos de extracção de biocompostos, tais como o D-Limoneno da casca de laranja, podem ocorrer de diferentes formas, como por exemplo pela hidrodestilação, destilação por arraste a vapor e extracção por solventes orgânicos, os quais passam a ser descritos de forma detalhada:

- **Hidrodestilação**

Segundo Sartor (2009), a hidrodestilação, ilustrada esquematicamente na Figura 9, é um método antigo e versátil no qual o material vegetal permanece em contacto com a água em ebulição, o vapor força a abertura das paredes celulares e ocorre a evaporação do óleo que está entre as células do material. Este processo ocorre num aparelho denominado aparelho de Clevenger. O vapor, que consiste na mistura de óleo e água, passa por um condensador, onde ocorre seu resfriamento e, como os componentes voláteis e a água são imiscíveis, ocorre a formação de duas fases líquidas que podem ser separadas, conforme ilustrado na Figura 8.

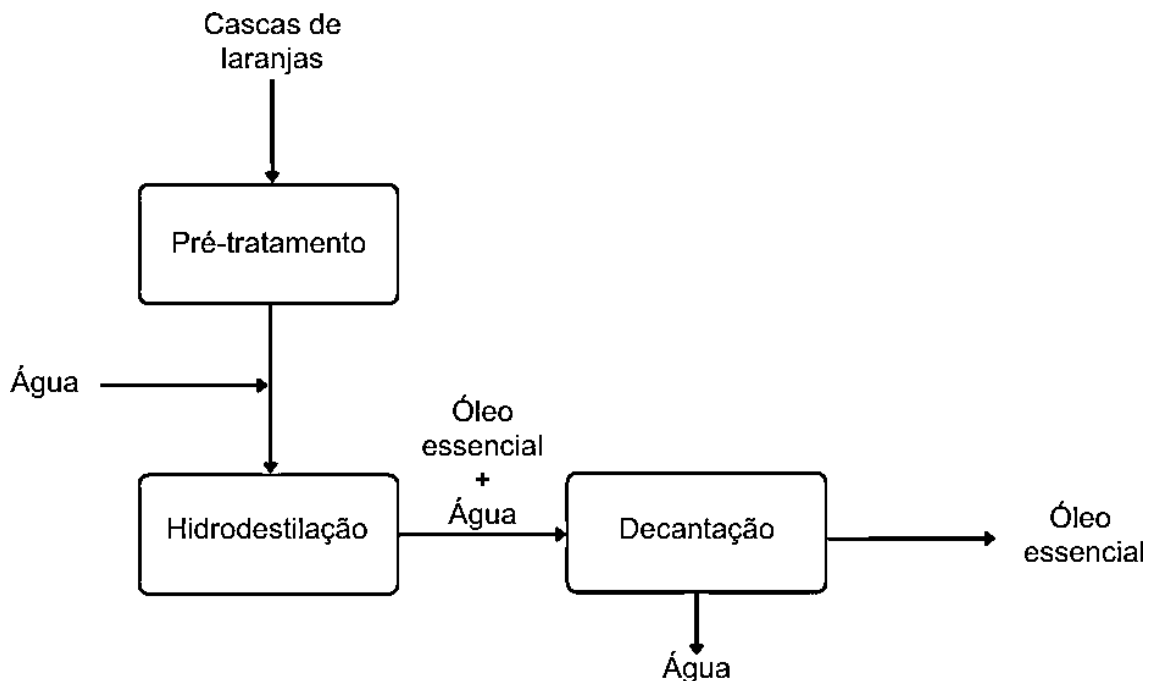


Figura 8: Fluxograma do processo de hidrodestilação (Fonte: Adaptado de (Alves, 2022)).

Entretanto, essa metodologia pode proporcionar degradação de alguns compostos presentes no óleo essencial, visto que a matéria-prima permanece em contacto directo com a água quente por longos períodos de tempo (Serafini et al., 2002).

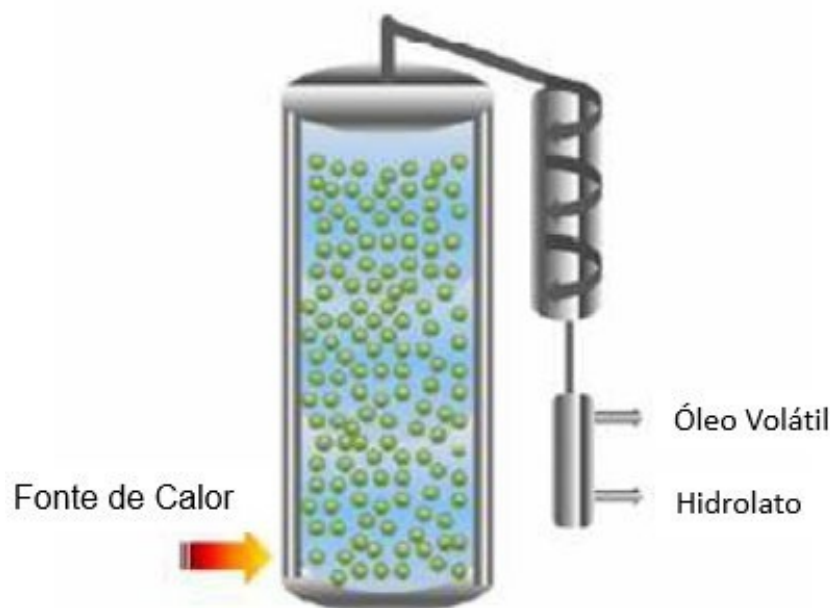


Figura 9: Sistema de hidrodestilação (Fonte: (Sartor, 2009)).

- **Destilação por arraste a vapor**

A destilação por arraste a vapor é uma operação unitária, utilizada principalmente para materiais sensíveis à temperatura, sendo baseada na diferença de volatilidade de determinados compostos presentes na matéria-prima vegetal (Serafini et al., 2002).

A destilação por arraste a vapor é uma destilação de dois líquidos imiscíveis, sendo que um deles é a água. Assim, a temperatura de ebulição da mistura será inferior ao ponto de ebulição dos dois líquidos separadamente, já que não há interação intermolecular entre eles. Portanto, no caso da extracção por arraste a vapor de óleos essenciais, o vapor do componente volátil será arrastado pelo vapor de água em temperaturas inferiores a 100 °C (Pinto, 2002).

A Figura 10 ilustra o vapor de água passando pelo leito fixo de matéria-prima que contém o óleo essencial. Devido ao efeito da temperatura de vapor em fluxo ascendente, há um aumento da pressão interna das células vegetais devido a vaporização parcial do óleo

em seu interior. Esse aumento de pressão leva ao rompimento das células aromáticas. Quando esse óleo entra em contacto com o vapor, ele é destilado até o topo do vaso extractor e, em seguida, se direciona para o condensador. Água e óleo são conduzidos até o vaso de decantação, para então, ocorrer a separação do condensado em duas fases: aquosa e oleosa (Cassel e Vargas, 2006).

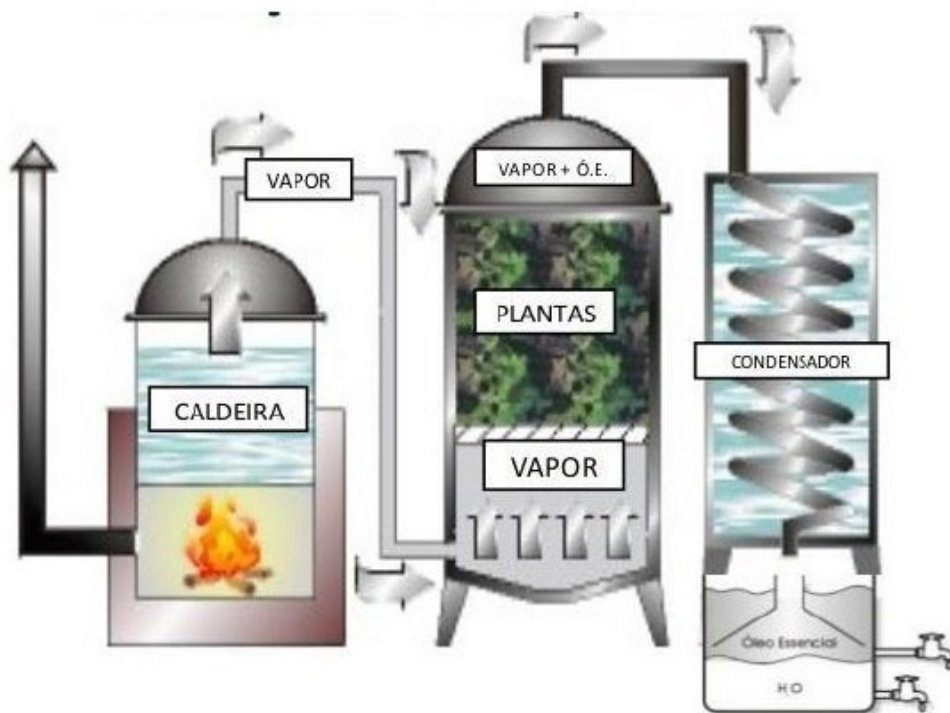


Figura 10: Sistema industrial de destilação por arraste à vapor (Fonte: (Cassel e Vargas, 2006)).

- **Extracção por solventes orgânicos**

Determinados tipos de óleos são muito instáveis, não suportando aumentos de temperatura. Neste caso, utilizam-se solventes orgânicos, tais como hexano, benzeno, metanol, etanol, propanol, acetona, pentano e diversos solventes clorados, para sua extracção, entretanto, há preferência por solventes apolares como o benzeno, sendo este um dos mais utilizados. A escolha do solvente depende de características como selectividade, temperatura de ebulição e custo (Silveira et al., 2012).

O processo de extracção utilizando solvente consiste em colocar um solvente orgânico em contacto com a matriz vegetal. Após um intervalo de tempo, suficiente para que

ocorra a transferência dos constituintes solúveis presentes na planta, efectua-se a separação das fases sólida e líquida. O óleo é obtido pela evaporação do solvente presente na fase líquida (Serafini et al., 2002).

A Figura 11 representa o equipamento utilizado pelo Método Soxhlet na extracção por solventes orgânicos.

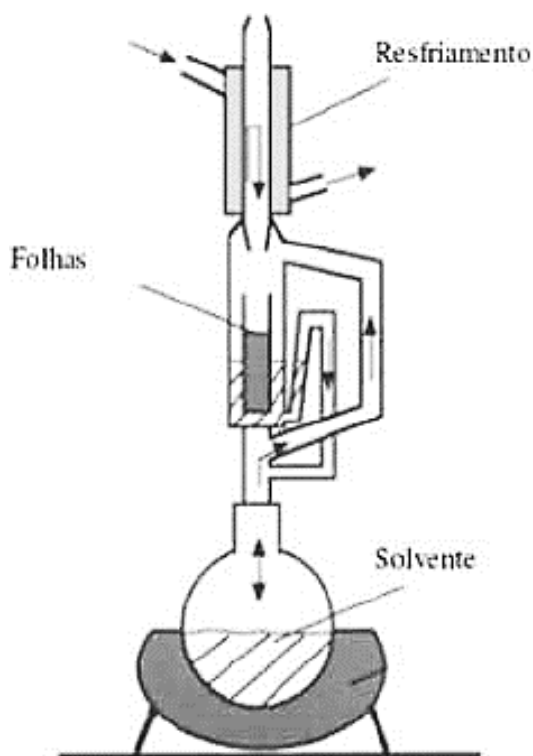


Figura 11: Sistema de extracção por solventes orgânicos (Fonte: (Sartor, 2009)).

O efeito negativo na utilização de solventes orgânicos é a remoção de todo o solvente residual e a extracção de compostos não voláteis. A remoção destes necessita de muita energia e alto custo de investimentos em equipamentos, além disso, os solventes podem provocar alterações químicas nas moléculas e efeitos tóxicos nos consumidores. Sendo assim, o solvente residual pode ser indesejável devido à sua toxicidade, capacidade reagente ou mesmo pela interferência no sabor e no aroma do extracto (Sartor, 2009).

A extracção por solventes é realizada utilizando o aparelho de Soxhlet. Para iniciar o processo, o solvente puro é colocado em um balão de fundo chato, que é acoplado ao corpo do Soxhlet. No corpo do Soxhlet, é inserido o material que será submetido à

extracção. Em seguida, o corpo do Soxhlet é conectado a um condensador através de um adaptador. O balão de fundo chato é colocado sobre uma manta térmica, que aquece o solvente, permitindo a extracção eficiente do material (Serafini et al., 2002). Ao ser aquecido, o solvente sobe pela tubulação e é resfriado no condensador, onde se condensa e goteja sobre a amostra. O solvente se acumula, formando um sistema bifásico composto pelo solvente e a amostra. À medida que o nível do solvente aumenta, ele eventualmente atinge o sifão, momento em que escoar de volta para o balão de fundo chato. Como o solvente é mais volátil que a molécula alvo, ele continua evaporando e realizando sucessivas extrações, lixiviando o material de forma contínua (Alves, 2022).

2.2.3. Comparação entre os métodos de extracção de D-Limoneno

Os processos de extracção de maneira geral possuem diversas vantagens e desvantagens entre si, tal como está resumido na tabela a seguir. Uma descrição de cada um dos métodos será apresentada nos tópicos abaixo.

Tabela 3: Técnicas de extracção de limoneno da casca da laranja (Fonte: Adaptado de (Alves, 2022)).

Processo	Vantagem	Desvantagem
Hidrodestilação	Alta remoção de óleo	Consumo elevado de energia, processo mais demorado
Solventes	Baixo custo energético, elevada recuperação	Uso de solventes não verdes, geração de resíduos danosos ao meio ambiente
Arraste a vapor	Processo rápido e eficiente.	Possível degradação térmica

2.3. VERNIZES

O verniz é um acabamento ou película protectora transparente e dura, com pouca ou nenhuma cor e sem pigmento adicionado, ao contrário da tinta ou do corante para madeira que contém pigmento (Ali, 2019). Ele é composto por uma ou mais resinas naturais ou sintéticas, um solvente volátil e, em alguns casos, um óleo secante. O processo de fabricação do verniz depende da manipulação dos seus componentes e das proporções dos mesmos (Kamron Senders, 2023).

O verniz forma uma película resultante de uma mistura de ligantes, solventes e aditivos. Os ligantes são a parte não volátil do verniz (veículo fixo). São responsáveis pelas propriedades físico-químicas do verniz, pela sua secagem (pela transformação do verniz em estado líquido em película) e pela impermeabilidade do verniz após secagem e pela aglomeração das partículas de pigmentos.(Sousa et al., 2008). Os solventes constituem o veículo volátil do verniz. São utilizados na diluição do verniz, permitindo controlar a viscosidade e, conseqüentemente a facilidade de aplicação do verniz. Os aditivos são utilizados nas diversas fases de fabrico de modo a conferir características especiais ao verniz. Existem diversos tipos de aditivos, como dispersantes, molhantes, antiespumas (previnem o aparecimento de defeitos devido à presença de bolhas), biocidas (previnem o aparecimento e proliferação de fungos, bactérias e outros), secantes e absorvedores UV. Os pigmentos são um material finamente dividido insolúvel. O verniz é utilizado principalmente em aplicações de acabamento de madeira onde se pretende que os tons naturais e os grãos da madeira sejam visíveis. A principal função do verniz é proteger a madeira de riscos, deformações e deterioração. Os principais agentes de deterioração são os agentes atmosféricos (água da chuva, orvalho, neve e humidade do ar, radiação ultravioleta, visível e radiação infravermelha, temperatura, oxigénio e poluentes do ar), os agentes biológicos (bactérias, fungos e insectos) e ainda os agentes químicos. A Figura 12 ilustra placas de madeira deterioradas sem protecção de verniz e com protecção de verniz.

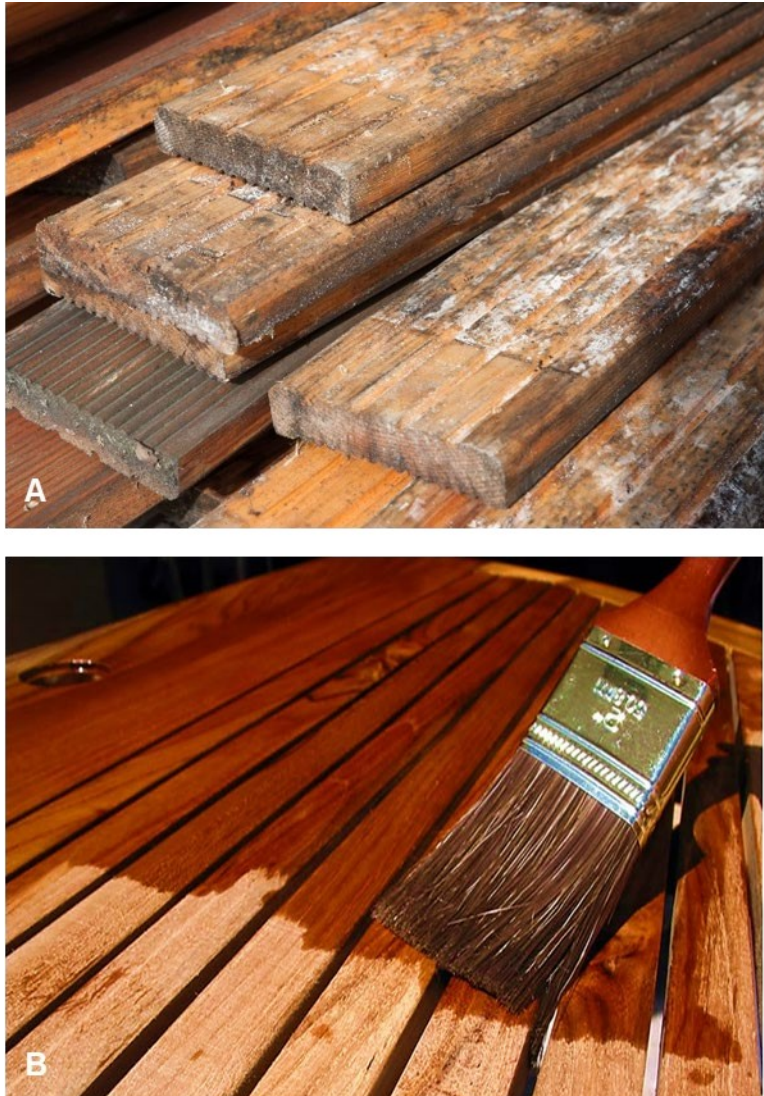


Figura 12: Ilustração de placas de madeira (A) danificadas por mofos e fungos causadas por humidade (Fonte: Reforma Casa de Madeira (2018); (B) com protecção de verniz (Fonte: Como escolher a cor e o tipo de verniz para madeira? 2018)).

Consoante a sua função, Sousa et al. (2008) divide os vernizes em dois grupos:

- 1) Os vernizes de fundo, também designados por tapa-poros, são destinados à primeira demão após a preparação da madeira. Devem ser compatíveis com os vernizes de cobertura, assim como devem possuir características de dureza que não comprometam o resultado final.
- 2) Os vernizes de cobertura podem ser mais ou menos duros, mais ou menos brilhantes, consoante a utilização e o gosto pessoal. Normalmente, os vernizes designam-se por brilhantes, de meio brilho ou mate.

2.4. PARÂMETROS DE QUALIDADE

A sua finalidade é, por um lado, poder realizar a detecção de defeitos nos componentes e, por outro lado, garantir a obtenção do melhor artigo em termos viáveis.

2.4.1. Densidade

De acordo com Jones e Smith (2018), a densidade de um verniz pode ser definida como a massa por unidade de volume do material. Esta propriedade pode ser medida experimentalmente e é frequentemente expressa em unidades como $\frac{gg}{cm^3}$ ou $\frac{kgg}{m^3}$. A

densidade é uma propriedade importante de um verniz que pode afectar sua viscosidade, taxa de secagem, capacidade de preenchimento de superfícies, sua aplicabilidade, resistência e acabamento final. Ela pode variar dependendo da composição química do verniz e de outros aditivos presentes na formulação.

Conforme observado por (E. S. Silva, 2006), vernizes com uma maior concentração de sólidos tendem a ter uma densidade mais alta devido à presença de mais materiais na mesma quantidade de volume.

Além disso, a densidade do verniz pode impactar sua capacidade de penetração em substratos porosos, como a madeira. Vernizes com densidades mais baixas podem penetrar mais profundamente nos poros do substrato, proporcionando uma melhor adesão e proteção (Gomes e Santos, 2019).

A densidade é calculada ao se dividir a massa do corpo pelo seu volume, conforme a equação abaixo:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

ρ = Densidade ($\frac{g}{cm^3}$)

m = Massa (g)

V = Volume (cm³)

2.4.2. Absorção de água

O teor de absorção de água na madeira é uma medida importante para avaliar sua resistência à humidade e sua aplicabilidade em diferentes contextos. Como afirmado por Muhcu et al. (2017), o teor de absorção de água pode ser encontrado calculando a percentagem do aumento de peso da madeira após sua imersão em água por um determinado período, onde após a retirada, seu aumento de peso é medido. Esse aumento de peso representa a quantidade de água absorvida pela madeira durante a imersão. A percentagem de absorção de água é calculada utilizando a equação abaixo.

$$Absorção = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100\% \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- Absorção = é a quantidade de absorção de água em percentagem;
- Ms = massa seca da madeira;
- Mu = massa húmida da madeira.

Esta medida é essencial para entender o comportamento higroscópico e a estabilidade dimensional da madeira (Mendis et al., 2023).

Além do método de imersão, outras abordagens mais avançadas têm sido desenvolvidas para a análise do teor de absorção de água em madeira. Por exemplo, técnicas gravimétricas e espectroscópicas têm sido empregadas para uma caracterização mais precisa do comportamento da madeira frente à água (Thybring et al., 2018). Esses métodos oferecem uma compreensão mais detalhada das interações entre a madeira e a água em nível molecular e macroscópico.

2.4.3. Teor de não-voláteis

Um resíduo ou substância não volátil é o material solúvel, suspenso ou particulado que permanece após a evaporação do solvente volátil que contém o material. A análise de conteúdo não volátil pode ser usada para determinar a pureza de um solvente e também para medir a quantidade de microcontaminação na superfície de um objecto ou peça (ou seja, sua pureza) (Soeira, 2019).

Segundo Gomes et al. (2002) a determinação do resíduo não-voláteis (RNV) envolve a evaporação do solvente orgânico e, em seguida, a medição gravimétrica do resíduo utilizando balanças sensíveis e recipientes de pesagem cuidadosamente tarados. Esse tipo de análise é essencial nas áreas de qualidade da água e testes ambientais, bem como nas indústrias química, farmacêutica, de dispositivos médicos e electrónica.

O cálculo percentual de RNV por é feito da seguinte forma:

$$\% RNV = \frac{\text{Peso do material pós secagem,gg}}{1gg} \times 100 \% \quad \text{Equação 3}$$

% RNV = percentagem de resíduos não voláteis.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

Os ensaios laboratoriais foram realizados no Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane. Os dois (2) materiais fundamentais necessários para se produzir o verniz foram as cascas de laranja e o poliestireno expandido, ambos recolhidos no mercado Fajardo, situado na Cidade de Maputo, e os demais materiais, listados na tabela abaixo foram fornecidos e/ou disponibilizados ao laboratório pela instituição.

Tabela 4: Lista de materiais e equipamentos.

Materiais	Equipamentos
Água destilada	Balança analítica
Balão de erlenmeyer	Placa de aquecimento
Balão de fundo redondo	
Frasco de vidro	
Funil de separação	
Papel de alumínio	
Pincel	
Placas de madeira	
Proveta graduada	

3.2. METODOLOGIA DA PARTE EXPERIMENTAL

O diagrama de fluxo mostrado na Figura 13, apresenta todas operações e processos unitários necessários para a extracção do D-Limoneno e a consequente produção de verniz.

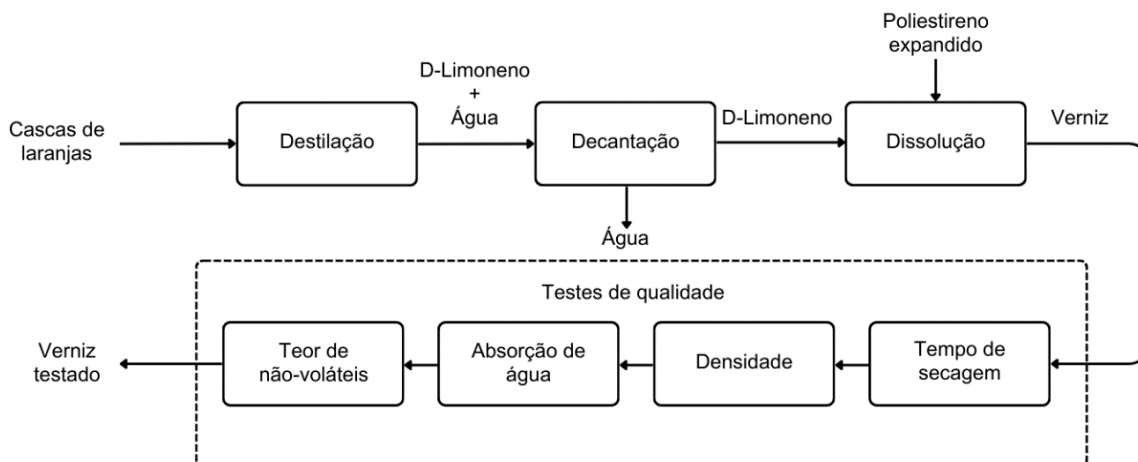


Figura 13: Diagrama de fluxo de produção de verniz.

3.2.1. Extracção do D-Limoneno

A extracção do óleo D-Limoneno foi realizada através de duas operações unitárias, que são a destilação, ilustrada em Figura 15, e decantação. Pesou-se 200 g de cascas de laranja, cortou-se em pequenos pedaços e adicionou-se à um balão de 500 ml junto com 300 ml de água utilizando um funil como ilustrado na Figura 14.



Figura 14: Alguns materiais usados (A-Cascas da laranja e B-Balão de 500ml).

Colocou-se no funil de separação 200 ml de água, mantendo a torneira fechada.

Ligou-se a manta de aquecimento para dar início a destilação e, aos poucos, adicionou-se, através do funil de separação, mais 200 ml de água ao longo da destilação. O processo foi interrompido quando não se observou mais óleo a ser destilado.



Figura 15: Ensaio laboratorial do processo de destilação.

Colocou-se o destilado numa ampola de decantação e separou-se o óleo da água. Separado o D-Limoneno, com ajuda de uma pipeta, transferiu-se para um frasco limpo e seco, como se pode ver na Figura 16.



A



B

Figura 16: A- Destilado na ampola de decantação. B-Óleo extraído.

3.2.2. Dissolução do Poliestireno

Diversos autores contribuíram para estabelecer as relações entre a quantidade de poliestireno e o volume de solvente necessário. Por exemplo, (Soeira, 2019) sugere que 1 grama de poliestireno pode requerer entre 10, 15 e 20 mililitros de solvente, dependendo das condições específicas do processo. Da mesma forma, em seus estudos sobre a dissolução do EPS em D-Limoneno, Da Silva (2021) identificou uma composição ideal de 60 mililitros de solvente para cada 15 gramas de EPS fragmentado, equivalente a uma proporção de 1 grama de EPS para 4 mililitros de D-Limoneno. Este planejamento foi baseado nos estudos feitos previamente buscando otimizar as proporções dos componentes na mistura e avaliar seus impactos nas propriedades resultantes.

A metodologia adotada segue a abordagem semelhante à utilizada por Soeira (2019), onde uma quantidade fixa de 0.5 gramas, como indicado em Figura 17, de poliestireno foi mantida constante, enquanto o volume do solvente foi variado entre 1, 2 e 3 mililitros como descreve a tabela abaixo.

Tabela 5: Proporções de poliestireno expandido e limoneno.

Componente			
Poliestireno expandido (g)	0.5		
Solvente limoneno (ml)	1	2	3

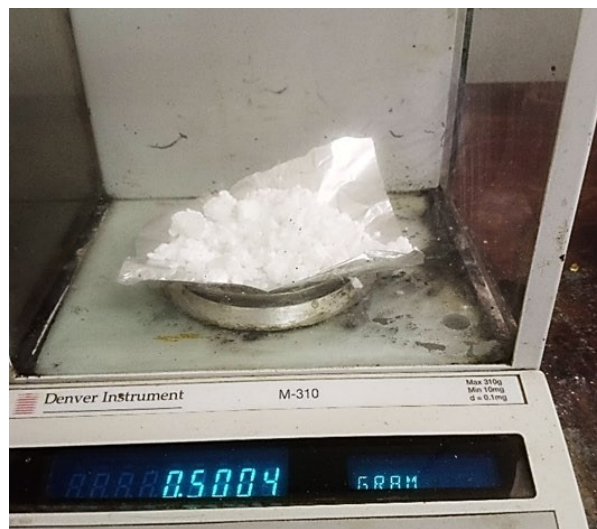


Figura 17: Pesagem do poliestireno expandido.

3.2.3. Determinação dos parâmetros da qualidade

- **Determinação do tempo de secagem**

O tempo de secagem foi determinado aplicando o verniz produzido em uma placa de madeira lisa, limpa e desengordurada e imediatamente a seguir teve início a cronometragem do tempo.

Para determinar o tempo de secagem, foi adoptado um procedimento no qual a camada de verniz aplicada sobre a placa foi avaliada quanto à sua aderência e resistência ao toque. A ausência de transferência da película de verniz para o dedo, tanto ao tocá-la quanto ao girá-lo sobre ela, foi considerada como indicativo de que a secagem estava completa. Além disso, para garantir que o verniz estivesse completamente endurecido, foi realizado um teste adicional, no qual a unha foi pressionada contra a película de verniz. O verniz foi considerado completamente endurecido quando não houve transferência de verniz da película para a unha após a aplicação de pressão. A Figura 18 mostra a diferença entre madeiras com e sem verniz.



Figura 18: Aplicação do verniz em madeira.

- **Determinação de densidade**

Para determinar a densidade das amostras, utilizou-se um método de medição de massa e volume adaptado ao recipiente, seguindo os seguintes passos: (1) Pesagem do frasco vazio em uma balança; (2) Adição de volumes de verniz de 1, 2 e 3 ml no frasco; (3) Pesagem do frasco contendo o verniz, novamente utilizando a balança e (4) Cálculo da densidade do verniz aplicando a Equação 1.

- **Determinação de absorção de água**

A determinação da absorção de água pela madeira foi realizada utilizando nove amostras de madeira de aproximadamente 1.5x4.5cm previamente limpas e lixadas. O teste consistiu na imersão de 18 amostras de madeira em água durante 24 horas, conforme ilustrado na Figura 19, dos quais 9 estavam sem aplicação de verniz e as outras 9 com aplicação de verniz.



Figura 19: Amostras de madeira em água.

- **Determinação do teor de não-voláteis**

Para o efeito, foi recorrido ao protocolo da norma Standard Test Method for Nonvolatile Matter in Volatile Solvents for Use in Paint, Varnish, Lacquer, and Related Products

(2021). Pesou-se 1 g da amostra do verniz produzido sobre uma folha de alumínio e, em seguida, colocou-se as amostras em estufa à 105 °C por duas horas para permitir que todo o material volátil evaporasse.



Figura 20: Amostra de verniz produzido.

Após duas horas, como ilustra a Figura 20, o material foi arrefecido à temperatura ambiente e pesado novamente para determinar o conteúdo não volátil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O verniz foi produzido através da dissolução do poliestireno expandido com peso fixo de 0.5 g em três diferentes proporções do solvente D-Limoneno em 1, 2 e 3 ml respectivamente. O D-Limoneno foi extraído da casca da laranja durante 9 dias.

4.1. EXTRACÇÃO DO LIMONENO

A quantidade total do óleo D-Limoneno obtida foi de 26 ml em 200 g de cascas de laranja misturado com 300 ml de água, durante 9 dias, tendo conseguido alcançar a maior quantidade de 4 ml no terceiro e quinto dia. O processo de colecta diária das amostras de óleo levou em média 2 horas e 22 minutos (cerca de 142 minutos), o que pode ser ilustrado pelo gráfico da Figura 21. Esse comportamento foi também observado por (Ponsoni et al., 2023) no estudo que visava avaliar a utilização do D-Limoneno como um solvente natural para a confecção de um compósito, obtiveram cerca de 5 ml de óleo durante 2 horas de extracção, resultante da mistura de 100 g de cascas da laranja e 200 ml de água. Assim sendo o volume máximo obtido é menor em uma unidade, em comparação com de (Ponsoni et al., 2023), isso pode ser devido as características das próprias laranjas e das condições operacionais que diferem.

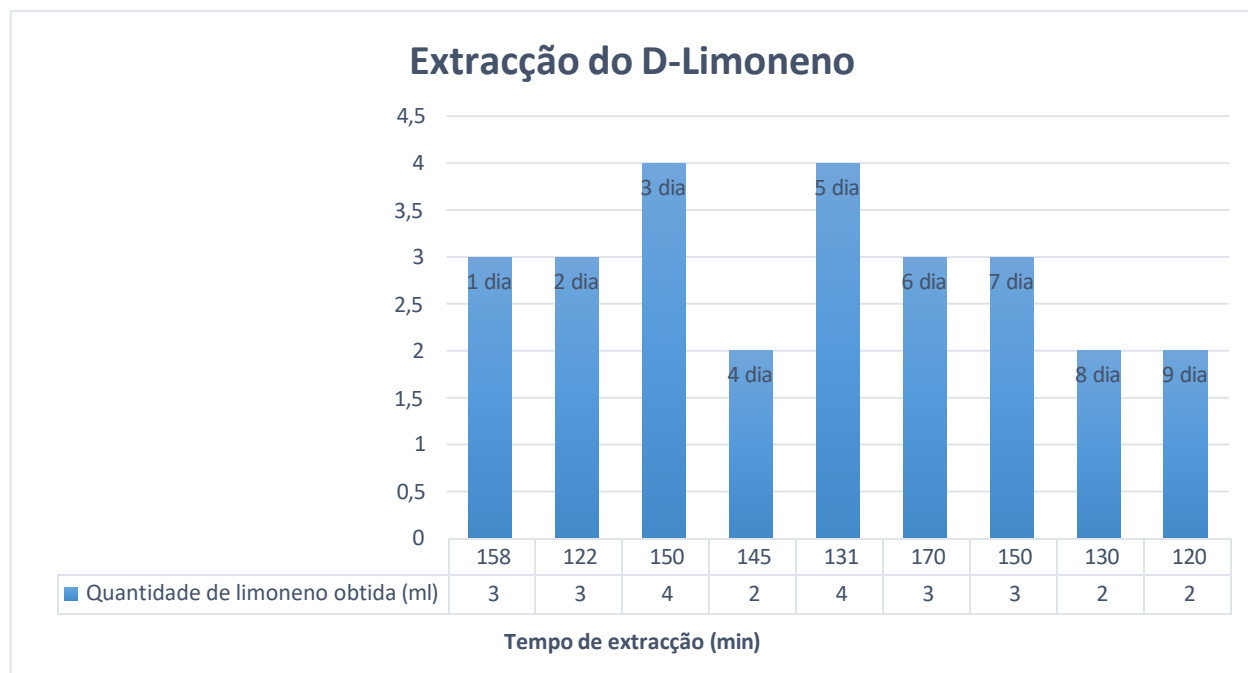


Figura 21: Extracção do óleo D-Limoneno.

No gráfico da Figura 20, é possível observar que o volume do óleo extraído não depende do tempo de extracção, mas sim das características das cascas, granulometria das cascas e condições operacionais.

O óleo obtido contém o solvente D-Limoneno em sua composição, o qual foi identificado pelo aroma característico de frutas cítricas e foi responsável pelas fases subsequentes.

4.2. DISSOLUÇÃO DO POLIESTIRENO

O desenvolvimento do verniz resultou da dissolução do poliestireno expandido em D-Limoneno, a qual decorreu de forma instantânea em temperatura ambiente, a partir do contacto inicial do EPS com o solvente, o que resultou no verniz com aspecto turvo e com cheiro do D-Limoneno. Esse comportamento foi observado também por (Conceição Da Silva et al., 2022), no estudo da dissolução do poliestireno expandido com o solvente D-Limoneno, dissolvendo três diferentes massas de EPS em 3 ml de solvente, observou-se, também, uma dissolução instantânea, ausência de aquecimento e presença do odor cítrico. A Figura 22 ilustra o processo da dissolução do EPS em D-Limoneno.

Observou-se também que quando se coloca quantidades acima de 0.5 g de EPS em 1 ml de D-Limoneno, a dissolução é lenta e incompleta, pois menores quantidades do solvente não são suficientes para dissolver quantidades elevadas do soluto. (ALARCÓN, 2017) em seu estudo, concluiu que a melhor proporção para a dissolução de poliestireno em limoneno é de 1:1.



Figura 22: Imagem ilustrativa da dissolução do EPS no D-Limoneno com 2, 1 e 3 ml.

4.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA QUALIDADE

4.3.1. Determinação do tempo de secagem

O tempo de secagem foi determinado observando-se a consistência da película de verniz na madeira, controlada tocando-a com o dedo. Inicialmente, o verniz grudava no dedo, mas após algum tempo, parava de grudar, indicando assim o tempo de secagem.

O gráfico da Figura 23 ilustra o tempo de secagem para as três (3) amostras consideradas.

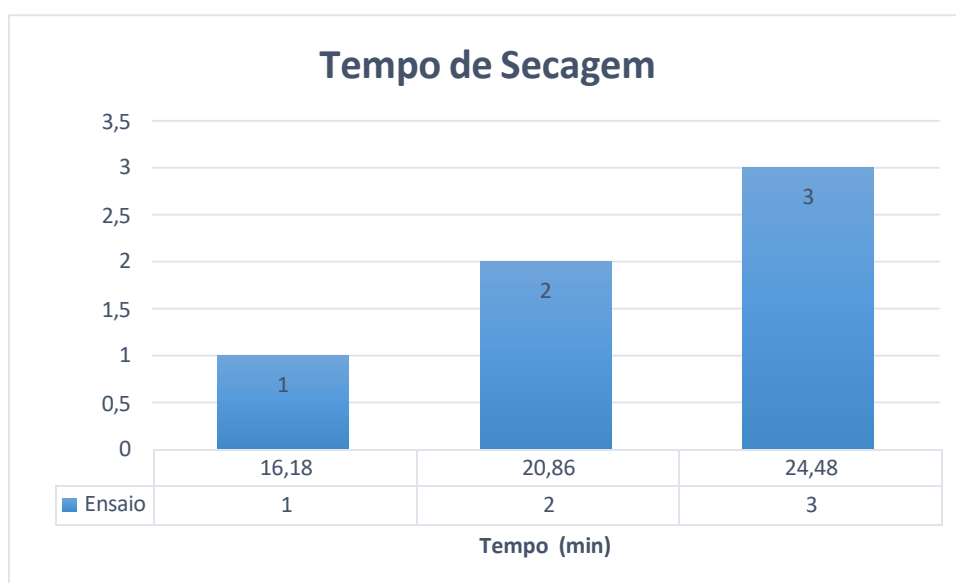


Figura 23: Tempo de secagem do verniz sobre a madeira.

Soeira (2019) realizou testes em vernizes com adição de plastificante vegetal e sintético, onde o tempo de secagem foi no mínimo três horas e trinta minutos. Por outro lado (Kamron Senders, 2023) caracterizou os vernizes que contém apenas solvente e resina, tal como o verniz produzido neste trabalho, como sendo de secagem rápida como mostram os resultados.

4.3.2. Determinação de densidade

A densidade do verniz pode ser observada no gráfico da Figura 24, onde o aumento do volume do solvente favorece a diminuição da densidade do verniz. Em seu estudo,

(Soeira, 2019) observou que o valor médio das três medidas realizadas para a resina base com plastificante vegetal foi de $221,7 \frac{gg}{cm^3}$ e para a resina base com plastificante vegetal foi de $195 \frac{gg}{cm^3}$.

A diminuição da densidade com o aumento do volume de solvente pode se justificar pela intenção de aprimorar a aplicabilidade e a uniformidade do verniz durante a aplicação. Um verniz menos denso tende a se espalhar mais facilmente sobre a superfície, proporcionando uma cobertura mais homogênea e facilitando a aplicação em camadas finas, o que é especialmente útil em situações onde se deseja um acabamento leve e sem sobrecarga de material. No entanto, essa redução de densidade deve ser cuidadosamente equilibrada, pois um verniz muito diluído pode comprometer a eficácia do mesmo.

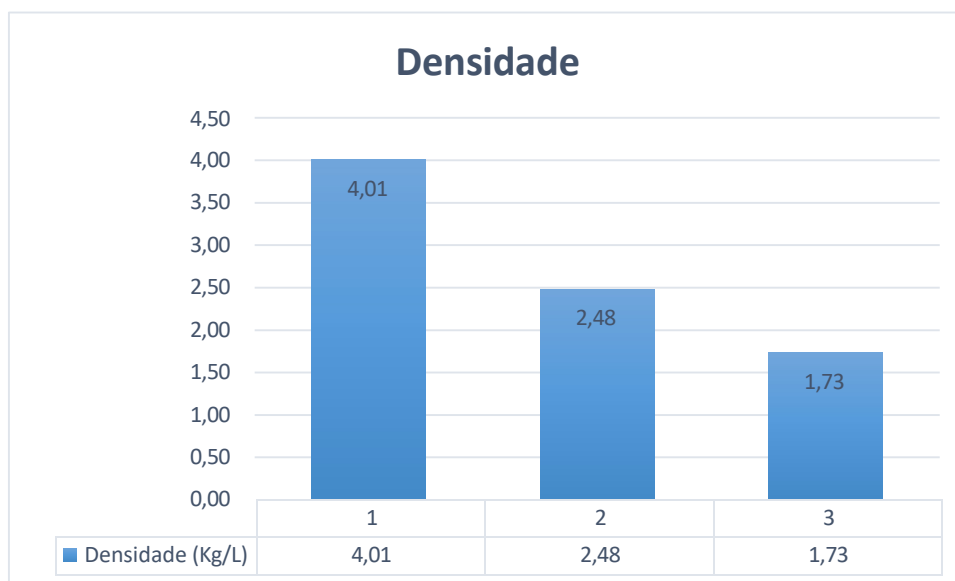


Figura 24: Densidade do verniz a base de EPS e D-Limoneno.

4.3.3. Determinação de absorção de água

A absorção de água pela madeira foi determinada em placas com e sem aplicação de verniz, que foram submersas em água por 24 h. Após a retirada da água, os corpos de prova foram pesados novamente para a realização dos cálculos da percentagem de absorção de água utilizando a Equação 2.

Conforme esperado, ao aplicar verniz na madeira, os poros ficam menos acessíveis, o que diminui sua capacidade de absorver água. Observou-se a redução foi de 3% e os resultados estão ilustrados na Figura 25. Soeira, 2019 usou cubos de madeira com de 3x3 cm e observou que a absorção de água reduziu em 20% após a aplicação de verniz e estes resultados coincidem proporcionalmente.

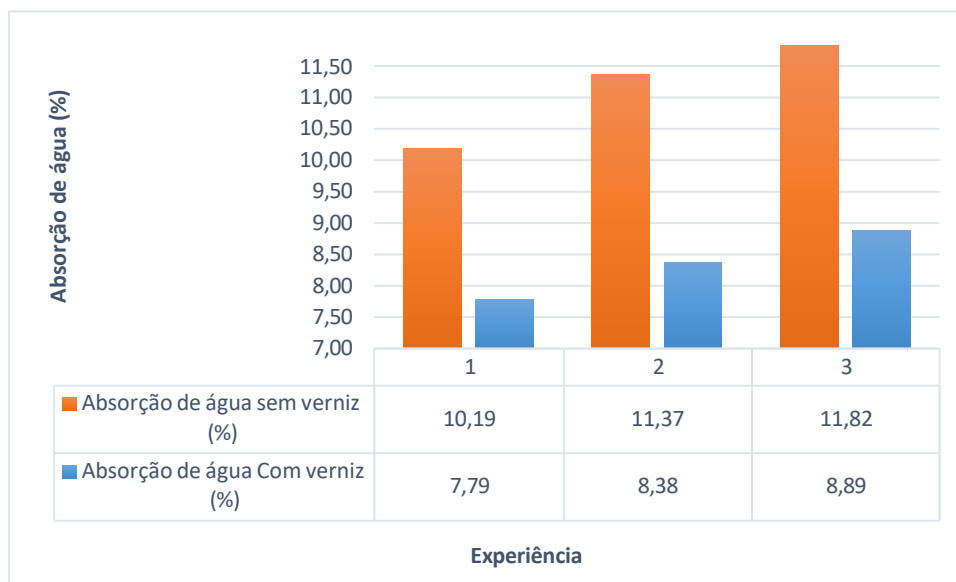


Figura 25: Índice de absorção de água pela madeira.

4.3.4. Teor de não-voláteis

O teor de não-voláteis teve uma disposição alternada, conforme o ilustrado na Figura 26. Este teor é muito influenciado pela quantidade de solvente, pois o odor cítrico característico do D-Limoneno mantém-se no verniz. Quanto maior for a quantidade do óleo maior é o teor de não-voláteis. A segunda experiência ilustra um pequeno incremento no que diz respeito a este teor. A Figura 26 ilustra claramente o teor de voláteis das três experiências realizadas.

Estudos anteriores indicam que os vernizes tradicionais à base de resinas alquídicas ou poliuretânicas tendem a apresentar teores de não-voláteis que variam de 50% a 70%. Entretanto, por se tratar de um verniz a base de solvente orgânico, e por este ser volátil,

o teor de volátil mostra-se consideravelmente mais baixo. Por outro lado, existem vernizes com teor mais baixo, entre 20% a 50%, como observou (Mukurarinda e Nisengwe, 2011) em seu estudo em vernizes a base de poliestireno de tolueno. Estes são igualmente funcionais, entretanto, exigem que várias camadas para atingir o mesmo nível de proteção que os vernizes com maior teor de não-voláteis.

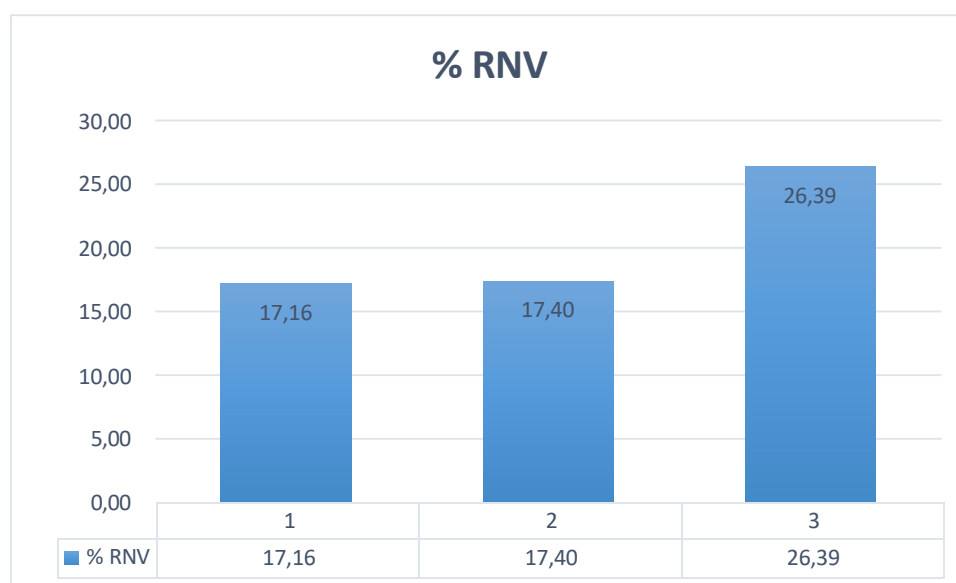


Figura 26: Teor de não-voláteis do verniz à base de EPS e D-Limoneno.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONCLUSÕES

À luz da realização deste trabalho e visando cumprir integralmente os objectivos previamente descritos, conclui-se que estes foram alcançados com sucesso. Os resultados obtidos confirmam essa conclusão:

- Foi possível realizar a extracção do solvente D-Limoneno a partir de cascas de laranja, pelo método de destilação simples obtendo um total de 26 ml de óleo, a partir de 1.8 kg de cascas de laranja.
- Foi demonstrado que a aplicação do verniz produzido reduz a capacidade de absorção de água pela madeira, resultando em uma diminuição de cerca de duas unidades nas três amostras testadas. O aumento do volume do óleo contribui para uma maior redução do índice de absorção: para volumes de 1, 2 e 3 ml, foram obtidos índices de absorção de 2.4%, 2.99% e 2.93%, respectivamente.
- O verniz resultante possui aspecto turvo e com cheiro cítrico. Feita a avaliação, amostra de 1ml de óleo e 0.5 g apresenta a composição óptima, com 16.18 min de tempo de secagem, $4.01 \frac{gg}{cm^3}$ de densidade, 2.4% de absorção e 17.16 % de

teor de não-voláteis, a qual mantém-se suficiente para a formulação do verniz.

Evidentemente, o verniz a base poliestireno, pode reduzir os impactos ambientais negativos causados pelo mesmo, pois pode ser viável, no sentido de ser um meio de reciclar.

5.2. RECOMENDAÇÕES

Feito o trabalho, recomenda-se:

- Estudar a eficiência de óleos secantes na formulação do verniz;
- Testar a eficácia do verniz aplicando mais de uma camada.
- Fazer a avaliação de mais parâmetros de qualidade;
- Transferir esses dados para as cooperativas recicladores e propor a reciclagem de poliestireno e cascas da laranja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, M. A. (2019). Vanishes. In *Advanced building materials*.
- Alves, A. L. (2022). *Extração de limoneno empregando técnicas sustentáveis*. Universidade Estadual Paulista.
- Amianti, M. (2005). Uso e Aplicação do Poliestireno Expandido (EPS) Reciclado para Impermeabilização por Impregnação de Superfícies de Concreto Pré-fabricado”. *Engenharia de Materiais, Mestrado*, 122.
- Amianti, M., Roberto Botaro, V., & Godefroid, L. B. (2005). *REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS UFOP-CETEC-UEMG “Uso e Aplicação do Poliestireno Expandido (EPS) Reciclado para Impermeabilização por Impregnação de Superfícies de Concreto Pré-fabricado.”*
- Bacelar, B. S., Renzano, E. C., & Beati, A. A. G. F. (2010). Incorporação Do Isopor Como Matéria-Prima De Verniz Para Base De Tinta. *Trabalho De Graduação - Engenharias Incorporação*, 1(1), 13.
- Baker, I. (2018). Polystyrene. In *Fifty Materials That Make the World* (pp. 175–178). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78766-4_33
- Brick, S. (2022). *Is Orange Essential Oil Worth the Squeeze? Top 10 Benefits and How to Use*. Greatist. <https://greatist.com/health/orange-essential-oil-benefits>
- Cassel, E., & Vargas, R. M. F. (2006). Experiments and modeling of the cymbopogon winterianus essential oil extration by steam distillation. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 50, 126–129.
- Conceição Da Silva, J., Vieira De Freitas, G., Vanelle, J., & Sfredo Da Rocha, S. (n.d.). *Dissolução do Poliestireno Expandido com o Solvente D-limoneno*.
- Conceição Da Silva, J., Vieira De Freitas, G., Vanelle, J., & Sfredo Da Rocha, S. (2022). Dissolução do Poliestireno Expandido com o Solvente D-limoneno. *Revista Eletrônica Multidisciplinar - UNIFACEAR*, 2316–2317.
- da Silva, L. A. S., de Oliveira, V. C., & Mendes, F. B. (2020). PRINCIPAIS APLICAÇÕES DOS RESÍDUOS DA LARANJA E SUA IMPORTÂNCIA INDUSTRIAL. *Revista Artigos. Com*, 3.
- da Silva, M. F. B. (2021). *Estudo de técnicas de reciclagem do poliestireno expandido: uma revisão sistemática e uma proposta de reaproveitamento*. Universidade Federal do Triângulo Mineiro.
- Elias Augusto Soares. (2021). *Poliestireno (PS)*.
- Fernandez, M. E., Nunell, G. V., Bonelli, P. R., & Cukierman, A. L. (2014). Activated carbon developed from orange peels: Batch and dynamic competitive adsorption of

- basic dyes. *Industrial Crops and Products*, 62, 437–445.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.015>
- Geraci, A., Di Stefano, V., Di Martino, E., Schillaci, D., & Schicchi, R. (2017). Essential oil components of orange peels and antimicrobial activity. *Natural Product Research*, 31(6), 653–659. <https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1219860>
- Gomes, T., Neto, S., Benedito, J., Jofre, F., & Cláudia, A. (2002). *MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS ANÁLISE DE RESÍDUOS NÃO VOLÁTEIS EM HIDRAZINA SEGUNDO A NORMA MIL-P-26536E*.
- Hameed, A. M., & Talib, A. A. (2018). Using the plastic wastes in fabrication of composite materials for different applications. *Iraqi Journal of Physics*, 16(36), 123–133. <https://doi.org/10.20723/ijp.16.36.123-133>
- Hattori, K. (2015). Recycling of Expanded Polystyrene Using Natural Solvents. In *Recycling Materials Based on Environmentally Friendly Techniques*. InTech. <https://doi.org/10.5772/59156>
- Hawerth, M., & Pietrobelli, J. M. T. de A. (2019). Reciclagem química do poliestireno expandido por meio de solventes distintos. *XXIV Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica*, 1–6.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2018). *D-Limoneno*. https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0918&p_version=2&p_lang=es
- K. J. Saunders. (1988). *POLYSTYRENE AND STYRENE COPOLYMERS*. Springer, Dordrecht.
- Kamron Senders. (2023). *What Is Varnish, And How Does It Compare To Polyurethane?* <https://www.thespruce.com/what-is-varnish-5219382>
- Mendis, M. S., Ishani, P. A. U., & Halwatura, R. U. (2023). Impacts of chemical modification of wood on water absorption: a review. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 20(1), 73–88. <https://doi.org/10.1007/s13196-023-00309-y>
- Montenegro, R. S. P., & Serfaty, M. E. (2002). *Aspectos gerais do poliestireno*.
- Muhcu, D., Terzi, E., Kartal, S. N., & Yoshimura, T. (2017). Biological performance, water absorption, and swelling of wood treated with nano-particles combined with the application of Paraloid B72®. *Journal of Forestry Research*, 28(2), 381–394. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0287-1>
- Mukurarinda, J., & Nisengwe Jean François Régis. (2011). PRODUCTION AND CHARACTERISATION OF VARNISH FROM POLYSTYRENE FOR THE PROTECTION OF BANANA LEAVES. *KIGALI INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3959.7527>

- Nikfar, S., & Behboudi, A. F. (2014). Limonene. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 3, 78–82. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00628-X>
- Pinto, B. R. (2002). *UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC OTIMIZAÇÃO DA DESTILAÇÃO POR ARRASTE A VAPOR DO LIMONENO DE Citrus sinensis (L.) Osbeck E AS SUAS APLICAÇÕES*.
- Pires, T. C. M., Ribeiro, M. G. T. C., & Machado, A. A. S. C. (2018). Extraction of R-(+)-limonene from orange peels: Assesment and otimization of the greenness of traditional extraction processes. *Quimica Nova*, 41(3), 355–365. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170139>
- Ponsoni, L. V., Melo, A. R., Fritzen, D., & Campos, D. de P. (2023, August). Uso do D-limoneno como um solvente natural para a confecção de um compósito de MDF. *Engenharia e Tecnologia*.
- Rafiq, S., Kaul, R., Sofi, S. A., Bashir, N., Nazir, F., & Ahmad Nayik, G. (2018). Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(4), 351–358. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.07.006>
- Regina da Rocha Sousa, F., na FEUP, O., & Adélio Mendes Doutora Luísa Carvalho, D. (2008). *Mestrado Integrado em Engenharia Química Estudo do Envernizamento de Madeiras Exóticas com Vernizes Aquosos Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial*.
- Salisu, A., & Maigari, Y. S. (2022). *POLYSTYRENE AND ITS RECYCLING: A REVIEW*. <https://www.researchgate.net/publication/359135360>
- Santiago, B., Moreira, M. T., Feijoo, G., & González-García, S. (2020). Identification of environmental aspects of citrus waste valorization into D-limonene from a biorefinery approach. *Biomass and Bioenergy*, 143(November). <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105844>
- Sartor, R. B. (2009). *Modelagem, Simulação e Otimização de uma Unidade Industrial de Extração de Óleos Essenciais por Arraste a Vapor*. 75.
- Serafini, L. A., Santos, A. C. A. dos, Touguinha, L. A., Agostinho, G., & Dalfovo, V. (2002). *Extrações e Aplicações de Óleos Essenciais de Plantas Aromáticas e Medicinais* (Editora da Universidade de Caxias do Sul, Ed.; 1ª).
- Shahbandeh, M. (2023). *Orange production worldwide from 2012/2013 to 2022/2023*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/577398/world-orange-production/>
- Silva, E. S. (2006). *Estudos dos óleos essenciais extraídos de resinas de espécies Protium spp.*
- Silva Filho, J. B. da. (2022). *Montagem de uma aparelhagem com materiais alternativos para a extração do limoneno das cascas de laranja*. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

- Silveira, J. C., Busato, N. V., Da Costa, A. O. S., & da Costa Junior, E. F. (2012, November). Levantamento e análise de métodos de extracção de óleos essenciais. *Enciclopédia Biosfera*, 2038–2049.
- Soeira, A. P. R. (2019a). *bd10b-tcc---ana-paula-ramos-soeira* [Trabalho de conclusão de curso]. Centro Universitário FACVEST.
- Soeira, A. P. R. (2019b). *Reciclagem de poliestireno expandido utilizando o solvente natural d-limoneno para produção de verniz e tinta*.
- Standard Test Method for Nonvolatile Matter in Volatile Solvents for Use in Paint, Varnish, Lacquer, and Related Products (2021).
- Suarez-Velázquez, G. G., Pech-Rodríguez, W. J., León, A., Castañon-Rodríguez, J., Meléndez-González, P., & Galaviz, J. (2022). ORANGE PEEL AS SUBSTRATE TO SYNTHESIZE CONDUCTIVE CARBON. *Ambiente y Bioenergía*, 38, 34–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.20937/RICA.54242>
- SUSAN INDIRA LOZADA ALARCÓN. (2017). *RECUPERACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) CON ACEITE ESENCIAL DE NARANJA, LIMA*.
- Thomas Staff. (2015). *Polystyrene (PS): Properties, Uses, and Types*.
- Thybring, E. E., Kymäläinen, M., & Rautkari, L. (2018). Experimental techniques for characterising water in wood covering the range from dry to fully water-saturated. *Wood Science and Technology*, 52(2), 297–329. <https://doi.org/10.1007/s00226-017-0977-7>
- Tvedten, I., Manguenze, L., & Uate, A. (2015). Solid Waste Management in Maputo, Mozambique. In *Policy Brief IV*.
- Webb, H. K., Arnott, J., Crawford, R. J., & Ivanova, E. P. (2013). Plastic degradation and its environmental implications with special reference to poly(ethylene terephthalate). *Polymers*, 5(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/polym5010001>

ANEXOS

1. Dados da quantidade de D-limoneno obtida.

Tabela A 1: Dados experimentais: quantidade de D-Limoneno obtida em cada ensaio.

Ensaio	Quantidade de D-Limoneno obtida (ml)	Tempo (h)
DA1	3	02h38
DA2	3	02h02
DA3	4	02h30
DA4	2	02h25
DA5	4	02h11
DA6	3	02h50
DA7	3	02h30
DA8	2	02h10
DA9	2	02h00

2. Dados do tempo de secagem

Tabela A 2: Resultados experimentais: Tempo de secagem.

	Tempo de Secagem			
N. Exp	Ensaio	Tempo de secagem (min)	Tempo de secagem (min)	Desvio Padrão
1	11	16.25	16.18333333	0.289635787
	12	16.5		
	13	15.8		
2	21	18.18	20.86	2.063459878
	22	21.2		
	23	23.2		
3	31	24.48	24.48	0
	32	24.48		
	33	24.48		

3. Dados da densidade

Tabela A 3: Resultados Experimentais: Densidade do verniz.

Densidade					
	Massa do Frasco com verniz (g)	Massa do Frasco vazio (g)	Volume do óleo	Densidade $(\frac{g}{cm^3})$	Média
1	49.1286	47.5712	1	4.1286	4.0067
	49.0483	47.5712	1	4.0483	
	48.8432	47.5712	1	3.8432	
2	49.9456	47.5712	2	2.4728	2.48135
	49.9616	47.5712	2	2.4808	
	49.9809	47.5712	2	2.49045	
3	50.0346	47.5712	3	1.6782	1.729667
	49.977	47.5712	3	1.659	
	50.5554	47.5712	3	1.8518	

4. Dados da absorção de água da madeira sem verniz

Tabela A 4: Resultados Experimentais: Cálculo de absorção de água (sem verniz)

Cálculo da absorção de água na madeira sem verniz					
Ensaio	M madeira sem verniz	M madeira húmida sem verniz 24h depois	Absorção de água (%)	Média	Desvio Padrão
11	2.409	2.645	9.797	10.188	0.910
12	2.941	3.216	9.322		
13	2.454	2.734	11.445		
21	3.029	3.367	11.157	11.365	0.159
22	2.331	2.600	11.544		
23	2.477	2.759	11.393		
31	2.158	2.417	12.012	11.822	1.413
32	2.297	2.606	13.450		
33	2.676	2.944	10.004		

5. Dados da absorção de água da madeira com verniz

Tabela A 5: Resultados Experimentais: Cálculo de absorção de água (com verniz).

Calculo da absorção de agua						
N. Exp	Ensaio	M madeira com verniz	M madeira humida com verniz 24h depois	Absorção de água	Média	Desvio Padrão
1	11	2.437	2.651	8.786	7.786	0.839
	12	2.913	3.109	6.732		
	13	2.632	2.838	7.838		
.2	21	2.592	2.838	9.488	8.376	0.971
	22	2.595	2.816	8.516		
	23	2.679	2.870	7.123		
3	31	2.813	3.049	8.395	8.885	1.276
	32	2.770	3.065	10.634		
	33	2.459	2.646	7.627		

6. Dados do Teor de não-voláteis

Tabela A 6: Resultados experimentais: Teor de não-voláteis.

Teor de não voláteis				
Ensaio	M madeira antes da estufa	M madeira depois da estufa	% RNV	Media
1	0.499	0.383	11.66	17.16
	0.567	0.226	34.06	
	0.413	0.356	5.75	
2	0.493	0.311	18.22	17.4
	0.494	0.296	19.76	
	0.457	0.315	14.22	
3	0.531	0.230	30.07	26.39
	0.654	0.370	28.43	
	0.403	0.196	20.67	