

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

Maria Eduarda Justino Carboni

**ESTUDO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS NO PROCESSO DE
DEGRADAÇÃO DE EMBALAGENS PLÁSTICAS**

CAMPINAS/SP
2025

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

Maria Eduarda Justino Carboni

**ESTUDO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS NO PROCESSO DE
DEGRADAÇÃO DE EMBALAGENS PLÁSTICAS**

Trabalho de Graduação apresentado por Maria Eduarda Justino Carboni, como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação do Prof. Dra. Juliana Pedrilho Foltin

CAMPINAS/SP

FICHA CATALOGRÁFICA
CEETEPS - FATEC Campinas - Biblioteca

C264e

CARBONI, Maria Eduarda Justino
Estudo de variáveis ambientais no processo de degradação de
embalagens plásticas. Maria Eduarda Justino Carboni.
Campinas, 2024.
14 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Processos Químicos
Faculdade de Tecnologia de Campinas.
Orientador: Profa. Dra. Juliana Pedrilho Foltin.

1. Análise de falhas. 2. Embalagens flexíveis. 3. Ensaios de
resistência mecânica. 4. Resistência à laminação. 5. Standup
pouches. I. Autor. II. Faculdade de Tecnologia de Campinas.
III. Título.

CDD 668.4

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG PQ 24.2

Maria Eduarda Carboni

**"Estudo de variáveis ambientais no processo de degradação
de embalagens plásticas."**

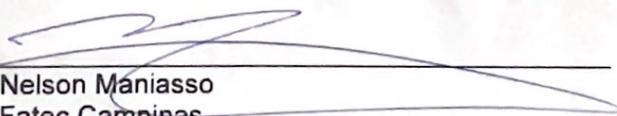
Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos, pelo CEETEPS / Faculdade de Tecnologia – Fatec Campinas.

Campinas, 06 de dezembro de 2024.

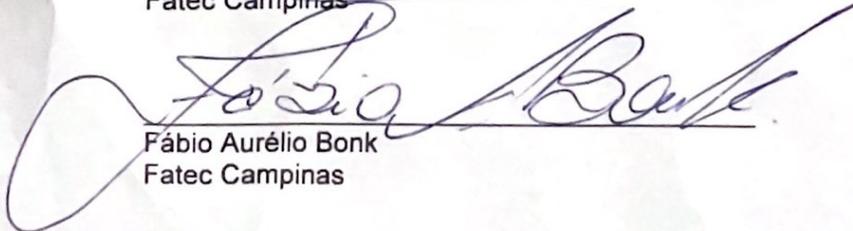
BANCA EXAMINADORA



Juliana Canto Duarte
Fatec Campinas



Nelson Maniasso
Fatec Campinas



Fábio Aurélio Bonk
Fatec Campinas

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo investigar a resistência à laminação de standup pouches, embalagens flexíveis amplamente utilizadas em diversos setores industriais. A resistência da laminação é um fator crucial para garantir a integridade da embalagem durante o transporte, armazenamento e manuseio, bem como para preservar a qualidade e segurança do produto embalado. Neste estudo, serão explorados os diferentes fatores que podem influenciar a resistência à laminação, como os fatores de temperatura e umidade nas condições de armazenamento e transporte, além de estudar a influência do estresse mecânico. Serão realizados ensaios de resistência à laminação em diferentes cenários de temperatura, umidade e estresse mecânico em standup pouches laminados, com o objetivo de identificar as principais causas de falhas.

Os resultados esperados incluem a compreensão dos mecanismos de falha da laminação. Espera-se que essas informações sejam úteis para a indústria de embalagens flexíveis, auxiliando na seleção adequada de materiais, no aprimoramento dos processos de fabricação e no desenvolvimento de embalagens mais resistentes e duráveis.

Palavras-chave: resistência à laminação, standup pouches, embalagens flexíveis, ensaios de resistência mecânica, análise de falhas.

ABSTRACT

This work aims to investigate the lamination strength of standup pouches, which are widely used flexible packaging in various industrial sectors. Lamination strength is a crucial factor in ensuring the integrity of the packaging during transportation, storage, and handling, as well as preserving the quality and safety of the packaged product. In this study, different factors that can influence lamination strength will be explored, such as temperature and humidity conditions during storage and transportation, as well as the influence of mechanical stress. Lamination strength tests will be conducted under different temperature, humidity, and mechanical stress scenarios on laminated standup pouches to identify the main causes of failures.

The expected results include understanding the failure mechanisms of lamination. It is anticipated that this information will be useful for the flexible packaging industry, aiding in the proper selection of materials, improvement of manufacturing processes, and development of more resistant and durable packaging.

Keywords: lamination strength, standup pouches, flexible packaging, mechanical strength tests, failure analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de standup pouches.....	12
Figura 2 – Estrutura embalagem laminada	12
Figura 3 – Classificação em pirâmide de variáveis pelo nível de influência	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de testes.....	Error! Bookmark not defined.
Tabela 2 – Tabela de presença de bolhas em cada condição.....	Error! Bookmark not defined.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA/PROBLEMÁTICA.....	12
1.3	OBJETIVOS.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3	MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1	MATERIAIS.....	15
3.1.1	Descrição dos materiais	Error! Bookmark not defined.
3.2	MÉTODOS.....	Error! Bookmark not defined.
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	Error! Bookmark not defined.
5	CONCLUSÃO	17
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As embalagens flexíveis desempenham um papel crucial na indústria, proporcionando proteção, praticidade e apelo estético aos produtos embalados. Dentre as várias opções disponíveis, os standup pouches têm se destacado como uma escolha popular para embalagens devido à sua versatilidade e capacidade de ficar em pé de forma autossustentável. Essas embalagens flexíveis são amplamente utilizadas em setores como alimentos, bebidas, produtos de cuidados pessoais e produtos farmacêuticos.



Figura 1- Exemplo de standup pouches (PROFILLS..., 2022)

No entanto, a resistência à laminação dos standup pouches é um fator crítico que deve ser considerado para garantir a integridade da embalagem e a qualidade do produto embalado.

A laminação é um processo que envolve a combinação de diferentes camadas de filmes plásticos (como Figura 2- estrutura embalagem laminada CAMARGO..., 2023), visando melhorar as propriedades da embalagem, como resistência, barreira contra a umidade, proteção contra a luz e estabilidade dimensional. A qualidade da laminação desempenha um papel crucial na eficácia dessas propriedades e na capacidade da embalagem de resistir a condições adversas durante o transporte e o manuseio.

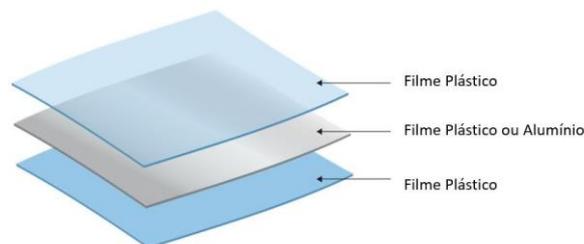


Figura 2

1.2 JUSTIFICATIVA/PROBLEMÁTICA

A resistência à laminação dos standup pouches desempenha um papel crucial na garantia da qualidade e segurança dos produtos embalados. No entanto, a investigação específica sobre os fatores que afetam essa resistência ainda é limitada. Essa lacuna de conhecimento é problemática, pois a resistência inadequada da laminação pode resultar em vazamentos, danos ao produto e perda de integridade da embalagem.

Considerando o cenário atual, onde as embalagens flexíveis estão ganhando cada vez mais destaque, é fundamental compreender os fatores que influenciam a resistência à laminação dos standup

pouches. A seleção adequada de materiais, os processos de fabricação e as condições de armazenamento são aspectos cruciais para garantir embalagens robustas e confiáveis.

Além disso, a análise de falhas na laminação é essencial para identificar as principais causas de falhas e orientar melhorias nas práticas de fabricação e controle de qualidade. Compreender as causas das falhas permitirá o desenvolvimento de soluções eficientes para fortalecer a resistência da laminação dos standup pouches.

Portanto, a justificativa deste estudo reside na importância de preencher a lacuna de conhecimento existente, contribuindo para o avanço da indústria de embalagens flexíveis. Ao compreender os fatores que afetam a resistência à laminação e propor estratégias para melhorá-la, será possível desenvolver embalagens mais duráveis, reduzir desperdícios e prejuízos financeiros, além de aumentar a satisfação dos clientes e a competitividade das empresas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Geral

O objetivo principal deste trabalho é investigar a resistência à laminação de standup pouches, explorando os fatores que impactam essa propriedade.

1.3.2 Específicos

Identificar as principais causas de falhas na laminação dos standup pouches, através de análise de falhas e inspeção visual;

- i. Realizar ensaios de resistência mecânica, como teste de tração e teste de resistência ao impacto, para avaliar a durabilidade da laminação em diferentes condições de aplicação de força;
- ii. Propor estratégias e melhorias para aumentar a resistência à laminação dos standup pouches, considerando a seleção de materiais adequados, otimização dos processos de fabricação e melhorias nas condições de armazenamento.

Ao alcançar esses objetivos, espera-se contribuir para o avanço do conhecimento na área de embalagens flexíveis e fornecer orientações valiosas para a indústria no aprimoramento da qualidade dos plásticos, reduzindo falhas de laminação e aumentando a confiabilidade das embalagens.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo realizado por Kim e Park (2020) aborda o tema do impacto ambiental das embalagens plásticas e sua degradação. O texto discute a tendência atual de sustentabilidade na indústria de embalagens, refletindo a evolução da consciência ambiental das empresas e da cadeia de abastecimento. Além disso, destaca a importância de se considerar o impacto ambiental dos resíduos de embalagens, que representam uma parte substancial dos resíduos sólidos urbanos.

No contexto da indústria de detergentes para a roupa, o estudo menciona que a preocupação com a sustentabilidade das embalagens tem crescido, impulsionada pela pressão dos consumidores e das regulamentações. Empresas têm buscado reduzir o uso de materiais de embalagem primária e incluir mais materiais reciclados, como resinas plásticas recicladas pós-consumo (PCR). Leis foram promulgadas em alguns estados dos EUA, como Califórnia e Oregon, para incentivar a reciclagem e reutilização de embalagens de papel e plástico.

O estudo destaca a introdução de um novo tipo de método de embalagem de detergente líquido para a roupa, as cápsulas, que visam melhorar a experiência do cliente e reduzir a carga ambiental do

consumo excessivo de detergente. No entanto, apesar de muitos estudos comparativos de avaliação do ciclo de vida (ACV) terem sido conduzidos, ainda há lacunas de dados em relação aos impactos ambientais de diferentes tipos de embalagens de detergente líquido, como as garrafas convencionais, as embalagens PET com cápsulas e as bolsas flexíveis com cápsulas.

Em resumo, o estudo de Kim e Park (2020) aborda a importância da sustentabilidade na indústria de embalagens plásticas, com foco no impacto ambiental dos resíduos de embalagens de detergentes líquidos para a roupa. O estudo destaca a necessidade de pesquisas quantitativas utilizando métodos como a ACV para comparar objetivamente os impactos ambientais de diferentes tipos de embalagens. Essa pesquisa tem como objetivo fornecer informações relevantes para a tomada de decisões em relação à sustentabilidade das embalagens utilizadas na indústria.

Laminação de embalagens plásticas:

No processo de laminação de embalagens plásticas flexíveis, a escolha adequada do conjunto adesivo é fundamental para o sucesso do projeto. A estrutura da embalagem deve ser considerada, levando em conta os requisitos do produto a ser acondicionado, as barreiras necessárias, o processo de envase, as questões estéticas, as especificações de resistência à delaminação, o processo de vedação, a forma de apresentação no ponto de venda, os requisitos legais e os custos.

A interação entre as tintas, os solventes e o conjunto adesivo também deve ser analisada e testada previamente. Alguns layouts de embalagem, como os que possuem degrados e cromias, podem apresentar alterações estéticas durante o processo de laminação. Além disso, a resistência à delaminação na área de tinta pode ser menor, o que pode causar problemas de vedação da embalagem. É importante controlar o teor residual dos solventes utilizados no processo de impressão e avaliar os impactos dessas alterações na laminação.

A exposição da embalagem no ponto de venda também deve ser considerada. Os adesivos aromáticos têm tendência ao amarelecimento quando expostos à radiação ultravioleta, o que pode afetar a aparência da embalagem. Em alguns casos, é recomendado o uso de adesivos alifáticos, que não são afetados por essa radiação. Medidas como a aplicação do adesivo por baixo da tinta e a escolha adequada das cores utilizadas podem ajudar a minimizar essas alterações.

O tempo de cura dos adesivos é outro fator importante a ser considerado. A cura macroscópica, que é o tempo necessário para a movimentação da bobina e para que ela apresente a resistência à delaminação desejada, varia de acordo com o tipo de adesivo. Já a cura microscópica é o momento em que a reação está completa e indica que a embalagem está pronta para o processo de envase. O tempo de cura pode ser influenciado pelas condições ambientais e pelo tipo de adesivo utilizado.

A velocidade do processo de laminação também tem impacto na escolha do adesivo. Com o aumento das velocidades de produção, os fabricantes de adesivos desenvolveram conjuntos que se adaptam a essa realidade. A velocidade de produção está relacionada à viscosidade do adesivo e ao seu tempo de vida útil após a mistura com o catalisador. É importante escolher um adesivo específico para cada máquina, levando em consideração a velocidade de produção.

Além da escolha do adesivo, as condições de processo, como as condições das bobinas dos substratos, as temperaturas do adesivo e catalisador, a umidade, o equipamento dosador e os controles de parâmetros de processo, também afetam a qualidade e o resultado do laminado. O condicionamento da bobina pós-laminação e a gramatura aplicada são outros fatores importantes a serem considerados.

Em conclusão, o processo de laminação de embalagens plásticas flexíveis é complexo e envolve diversas variáveis ambientais que podem afetar a qualidade do laminado. É necessário um conhecimento aprofundado dessas variáveis e a aplicação de controles adequados para garantir o sucesso do projeto de embalagem.

Biodegradabilidade

A biodegradabilidade das embalagens é um tema que desperta debates e falta de consenso na definição dos termos "degradação" e "biodegradação". A degradação é entendida como a quebra química do material em pequenas moléculas ou sua incorporação por organismos vivos, sendo induzida por diversos fatores ambientais. Já a biodegradação é um processo de reciclagem em que os materiais podem passar por transformações biológicas, mecânicas e químicas. Essa abordagem pode contribuir para a redução de resíduos e emissões de dióxido de carbono provenientes de combustíveis fósseis, especialmente quando se utiliza biomateriais derivados de fontes renováveis, como amido e proteínas. Esses biomateriais têm a capacidade de se biodegradar completamente em um ciclo de compostagem, resultando em um produto enriquecido em carbono que pode ser utilizado para melhorar o solo agrícola.

No entanto, a biodegradação não depende apenas das condições ambientais, mas também da estrutura química e física dos materiais. A presença de ligações químicas suscetíveis à hidrólise enzimática é essencial para que ocorra a biodegradação. Além disso, fatores como ramificação, hidrofobicidade, altas massas moleculares e cristalinidade podem afetar negativamente a degradação enzimática dos materiais. Portanto, é importante considerar esses aspectos ao desenvolver embalagens biodegradáveis.

Em suma, a biodegradabilidade das embalagens envolve a capacidade dos materiais se degradarem e se decompor naturalmente por meio de processos biológicos. A utilização de biomateriais renováveis oferece uma alternativa viável para reduzir os impactos ambientais, como consumo de energia, emissões de gases de efeito estufa e geração de resíduos. No entanto, é necessário considerar não apenas as condições ambientais, mas também a estrutura química e física dos materiais para garantir uma biodegradação eficiente.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Descrição dos materiais

Para a realização deste estudo, foram utilizados os seguintes materiais:

- Estruturas Laminadas flexíveis compostas por plástico;
- Produtos para limpeza de roupas, como amaciante e detergente;
- Elástico de borracha;
- Enforca-Gato;
- Câmara climática;
- Estufa.

3.2 MÉTODOS

Foram realizados os seguintes testes com duração de 30 dias, durante 5 meses

Teste	Parâmetros	Objetivos
Teste 1	50°C	Entender a influência da temperatura
Teste 2	50°C – Elástico	Entender a influência do elástico

Teste 3	50°C – Enforca Gato	Entender a influência do enforca gato
Teste 4	50°C e 80% RH	Entender a influência da Temperatura e umidade
Teste 5	50°C e 80% RH – Elástico	Entender a influência do elástico com umidade
Teste 6	50°C e 80% RH – Enforca Gato	Entender a influência do enforca gato com umidade
Teste 7	40°C e 80% RH	Entender a influência da Temperatura e umidade
Teste 8	40°C e 80% RH – Elástico	Entender a influência do elástico nessas condições
Teste 9	40°C e 80% RH – Enforca Gato	Entender a influência do enforca gato nessas condições
Teste 10	40°C	Entender a influência apenas da temperatura
Teste 11	50°C	

Tabela 1. Aatoria do autor

Avaliação de resultados

- Observar as triplicatas de cada teste a fim de encontrar bolhas ou descoloração da tinta na estrutura.
- As bolhas maiores que 1mm ja são consideradas falhas estruturais.
- Rompimentos são considerados falha total.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teste	Presença de bolhas
Teste 1	Não
Teste 2	Sim
Teste 3	Sim
Teste 4	Não
Teste 5	Sim
Teste 6	Sim
Teste 7	Não
Teste 8	Sim
Teste 9	Sim

Tabela 2. Aatoria própria

Os testes destacados em cinza, ao serem comparados, temos um nível de presença de bolhas maior naqueles que possuem cable tie com bolhas de até 5 cm. Porém as amostras com elástico também apresentam bolhas de tamanhos menores (entre 0.5 e 1.5 cm).

Para os testes destacados em amarelo, temos os mesmos resultados, porém como o que difere dos testes destacados em cinza é a presença de umidade. Foi possível entender que na presença de alta umidade o material fica menos estressado.

A transferência de calor se dá pelas partículas presentes no ambiente e, quando possuímos umidade mais baixa a taxa de transferência de calor também é baixa já que temos menos partículas de água no ambiente, sendo assim a nossa amostra precisa exercer um trabalho maior do que em comparação com umidades altas onde a transferencia de calor ocorre de forma mais natural por possuir mais partículas de água na atmosfere do teste.

E por ultimo, ao compararmos os testes destacados em amarelo e em verde, o que diferem é em questão á temperatura. Com isso, ao analisar os resultados é possível concluir que temperatura é um

fator muito demandante para as amostras, uma vez que ao aplicar 50°C a amostra apresenta bolhas entre 5 a 6 cm e quando a temperatura é de 40°C as bolhas apresentadas possuem entre 3 - 4 cm.

Para sumarizar os resultados veja pirâmide, onde o topo indica a variável mais agressiva para a amostra e a base, sendo a menos agressiva.

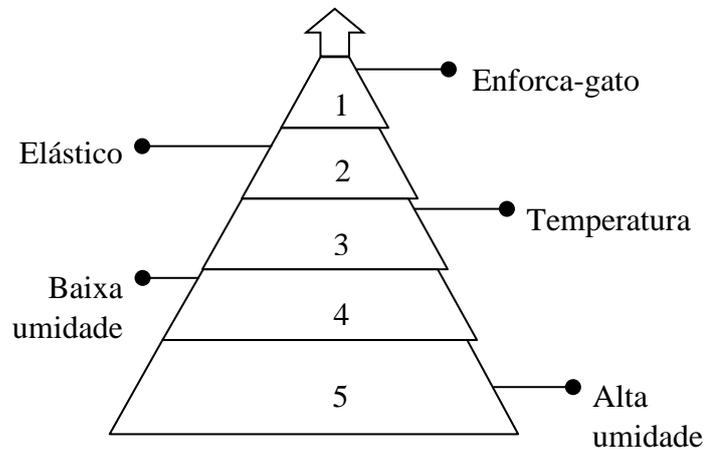


Figura 3. Autoria do autor

Em relação à influência das variáveis, foram concluídas as seguintes observações:

Estresse mecânico	Temperatura	Umidade
O estresse mecânico não é um fator acelerador, mas enfraquece a estrutura da embalagem, permitindo que a temperatura e a umidade degradem a estrutura e causem delaminação. E quando não há estresse mecânico, os níveis de delaminação observados nos testes são mais baixos.	Um aumento na temperatura está associado a um maior nível de delaminação, conforme evidenciado pelos resultados dos testes 2 e 3.	A taxa de transferência de calor se propaga através das partículas suspensas na atmosfera do teste. Quando a umidade é baixa, o número de partículas suspensas é menor, fazendo com que a amostra faça mais esforço para atingir o equilíbrio térmico. Isso pode favorecer o processo de delaminação.

5. CONCLUSÃO

- O cenário mais exigente de delaminação para as amostras é quando apenas a temperatura constante (50°C) com baixa umidade (20% UR) e estresse mecânico são aplicados.
- Apenas o controle de temperatura (50° ou 60°C) causa mais delaminação quando comparado aos testes com umidade constante (80%) e temperatura constante (50°C ou 60°C).
- Elásticos de borracha resultam em níveis mais baixos de delaminação em comparação com abraçadeiras de cabo. Isso ocorre devido ao fato de que a abraçadeira de cabo (feita de PE) aplica a mesma força desde o primeiro dia de teste, enquanto o elástico de borracha (feito de borracha deformável) perde sua resistência ao longo do tempo de teste.
- O estresse mecânico é altamente exigente para as amostras e os resultados não refletem as condições reais em supermercados após o processo da cadeia de suprimentos, mas são necessários para simular esse cenário. Embora o estresse mecânico não reflita com precisão as condições reais nas prateleiras dos supermercados, sua remoção completa comprometeria a confiabilidade dos testes. Sem ele, não se consideraria os impactos que a amostra enfrenta durante a cadeia de suprimentos, resultando em uma avaliação irreal da resistência e durabilidade das amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABFLEXO. abflexo. LAMINAÇÃO: AGREGANDO VALOR À EMBALAGEM. [S.l.]. abflexo, 2018. Disponível em: <https://abflexo.org.br/2015/02/06/logistica-tintas-2/#:~:text=O%20processo%20de%20lamina%C3%A7%C3%A3o%20de,a%20impress%C3%A3o%20e%20reduzir%20custos..> Acesso em: 13 mai. 2024.
- ARAÚJO, KELLEN DE OLIVEIRA. AVALIAÇÃO DA DEGRADABILIDADE DE EMBALAGENS PLÁSTICAS DE COSMÉTICOS. Orientador: Miriam Maria de Resende. 2021. 30 f. v. 1, TCC (Graduação) - Curso de ENGENHARIA QUÍMICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, UFU, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/34323/1/Avalia%C3%A7%C3%A3oDegrabilidadeEmbalagens.pdf>. acesso em: 14 mai. 2024.
- CAMARGO EMBALAGENS. Camargo Cia Embalagens. Embalagem laminada: Descubra suas funções e benefícios aqui!. [S.l.]. Camargo embalagens, 2023. Disponível em: <https://camargociaembalagens.com.br/embalagem-laminada-descubra-suas-funcoes-e-beneficios-aqui/>. Acesso em: 13 mar. 2024.
- CUCA, J.; Cosméticos, desenho e construção das embalagens contribuem para o sucesso dos produtos, 2017. Revista química e derivada, Edição nº463 - julho de 2017.
- KIM, Saewhan; PARK, Jonghun. Comparative Life Cycle Assessment of Multiple Liquid Laundry Detergent Packaging Formats. Sustainability, [S.L.], v. 12, n. 11, p. 4669, 8 jun. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12114669>.