

AValiação DA DEGRADAÇÃO FORÇADA E DE EMBALAGENS PLÁSTICAS DESCARTÁVEIS POR MEIO DA TÉCNICA DE FTIR

EVALUATION OF FORCED DEGRADATION AND DISPOSABLE PLASTIC PACKAGING USING THE FTIR TECHNIQUE

Mauricio Gloeden Fogolin ^{1, i}
André da Silva Siqueira ^{2, ii}
Kerley Cristiane Victorino Romão ^{3, iii}

RESUMO

Este estudo investigou a degradação de embalagens plásticas descartáveis submetidas a ciclos aquecimento por micro-ondas e refrigeração, com o objetivo de determinar a vida útil desses materiais quando reutilizados. A embalagem plástica descartável foi submetida a 10, 30 e 60 ciclos de aquecimento e resfriamento, com intervalos de 12 horas. A avaliação da degradação foi realizada por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), técnica amplamente validada para a identificação de grupos funcionais e monitoramento de alterações químicas em polímeros, conforme a ABNT NBR 15443 (2007). As considerações finais ressaltam a importância do projeto para a segurança do consumidor, ao oferecer informações que podem orientar sobre o uso seguro e o potencial de reutilização de embalagens plásticas. Embora as correlações espectrais tenham se mantido altas mesmo após 60 ciclos, é possível observar o início de uma degradação. O estudo estabelece uma base para futuras pesquisas que poderiam incluir ensaios mecânicos e testes de migração para uma avaliação mais completa da degradação e da segurança.

Palavras-chave: degradação de polímeros; embalagens plásticas; micro-ondas; FTIR.

ABSTRACT

This study investigated the degradation of disposable plastic packaging subjected to microwave heating and cooling cycles to determine their shelf life after reuse. The disposable plastic packaging was subjected to 10, 30, and 60 heating and cooling cycles, spaced 12 hours apart. Degradation was assessed using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), a widely validated technique for identifying functional groups and monitoring chemical changes in polymers, in accordance with ABNT NBR 15443 (2007). The final considerations highlight the importance of the project for consumer safety by providing information that can guide the safe use and potential reuse of plastic packaging. Although spectral correlations remained high even after 60 cycles, the beginning of degradation can be observed. The study establishes a

¹ Instrutor de Formação Profissional III – SENAI-SP: E-mail: mfogolin@sp.senai.br

² Instrutor de Formação Profissional III – SENAI-SP: E-mail: andre.dsiqueira@sp.senai.br

³ Docente da Faculdade de Tecnologia do SENAI-SP. E-mail: kerley.romao@sp.senai.br

foundation for future research, which could include mechanical testing and migration tests for a more comprehensive assessment of degradation and safety.

Keywords: *Polymer degradation; Plastic packaging; Microwave; FTIR.*

1 INTRODUÇÃO

As embalagens plásticas de uma forma geral são amplamente utilizadas para área de alimentos congelados devido as suas propriedades que possuem alta resistência a impactos, que é ideal para suportar as condições de manuseio e transporte de alimentos congelados. O polipropileno possui grande resistência térmica, podendo ser levado do freezer ao forno micro-ondas. (Barão, 2011)

1.1 Problema de pesquisa

Em 2023, o volume da produção de embalagens cresceu 1,2%. Há uma previsão de crescimento para 2025, segundo estudos da ABRE. (Associação Brasileira da Embalagem, 2024) A importância de se estudar embalagens plásticas para aumentar a segurança do consumidor é imprescindível. (Frabris; Freitas, 2006) O estudo concentra-se na caracterização da degradação de embalagens plásticas descartáveis que são submetidas a ciclos repetidos de aquecimento por micro-ondas e refrigeração.

O foco do projeto reside em compreender como o material polimérico reage a esses estresses térmicos, buscando verificar as alterações moleculares que podem comprometer suas propriedades e segurança.

1.2 Objetivo

O estudo se propõe a investigar a integridade química das embalagens descartáveis submetidas a um cenário de degradação térmica cíclica, avaliando até que ponto as propriedades do material podem ser alteradas por essa modalidade de estresse.

1.3 Justificativa

A importância do estudo, reside em estudar o um cenário cotidiano, onde se reutilizam embalagens plásticas que não foram originalmente projetadas por múltiplos aquecimentos em forno micro-ondas. (Miranda, 2011) aliada à análise dessa degradação polimérica caracterizada por meio da técnica FTIR. Enquanto diversos estudos focam na degradação em condições ideais de laboratório, este investiga o impacto acumulativo de ações repetidas que são rotineiras para o usuário final. Essa abordagem oferece um melhor entendimento da vida útil real desses materiais, preenchendo uma lacuna importante no conhecimento sobre o comportamento de embalagens em ambientes domésticos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Embalagens Plásticas e Seu Uso no Cotidiano

As embalagens plásticas descartáveis assumem um papel fundamental na sociedade contemporânea, proporcionando conveniência, segurança e prolongamento da vida útil de diversos produtos, especialmente alimentos. Desenvolvidas, em princípio, para um único uso, essas embalagens são frequentemente reutilizadas em ambientes domésticos, um hábito impulsionado tanto por fatores econômicos quanto por uma percepção de sustentabilidade. Contudo, essa prática de reutilização expõe o material polimérico a ciclos térmicos repetidos, como o aquecimento em fornos de micro-ondas seguido de refrigeração, o que pode induzir estresses significativos na estrutura do polímero (Pielichowski; Njuguna; Majka, 2022). A compreensão da segurança e integridade desses materiais sob tais condições é crucial.

2.2 Ensaio de Degradação de Polímeros

A degradação de polímeros é definida como qualquer alteração adversa nas propriedades físicas, químicas e mecânicas de um material polimérico ao longo do tempo, geralmente causada pela exposição a fatores ambientais como calor, radiação ultravioleta, umidade, oxigênio ou agentes químicos (Mena et al., 2020). Em ensaios de degradação, busca-se simular e acelerar esses processos para compreender o comportamento do material e prever sua vida útil em condições de serviço. A exposição cíclica a micro-ondas e refrigeração representa um ensaio de envelhecimento acelerado que replica as condições reais de reutilização de embalagens descartáveis.

3 METODOLOGIA

Este estudo adotou uma abordagem de estudo de caso para investigar a degradação de embalagens plásticas descartáveis de polipropileno sob condições de uso doméstico. No desenvolvimento do projeto, uma embalagem plástica descartável foi submetida a ciclos controlados de refrigeração em freezer e aquecimento em micro-ondas, com intervalos mínimos de 12 horas entre cada ciclo, simulando a reutilização comum por consumidores. Para a análise, foram preparadas quatro amostras distintas, os ciclos eram realizados no micro-ondas com a duração de 1 minuto: uma amostra de controle (0 ciclos), uma amostra com 10 ciclos, outra com 30 ciclos e uma final com 60 ciclos. Essa progressão de ciclos permite observar a evolução da degradação do material ao longo do tempo.

A metodologia para avaliar a degradação, baseou-se na espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Esta técnica, amplamente reconhecida e validada na ciência dos polímeros, conforme diretrizes da ABNT NBR 15443 (2007). Esta técnica é fundamental para a identificação de grupos funcionais e o monitoramento de alterações químicas em escala molecular. Através da análise das absorções de energia infravermelha por diferentes ligações químicas, foi possível rastrear o aparecimento de novas bandas ou a modificação de bandas existentes, indicando processos de degradação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A degradação térmica do polipropileno (PP) é um processo de quebra de cadeia, que pode ser causada por calor, radiação UV e oxigênio. Quando o PP sofre degradação, sua estrutura molecular original se

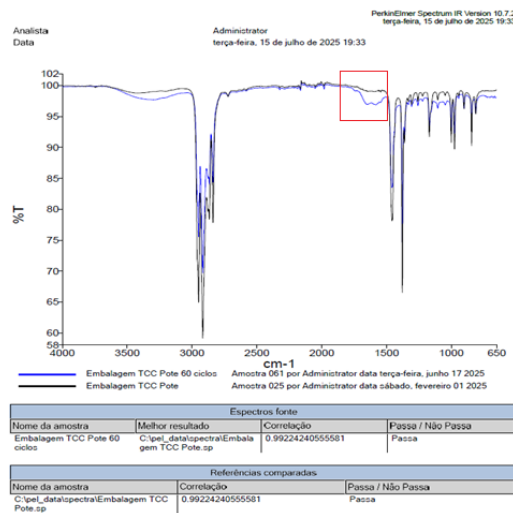
modifica, e novos grupos químicos são formados. A degradação de polipropileno pode ser monitorada nas bandas utilizando o equipamento de FTIR, essa é um indicador de degradação. (Cáceres, Canevarolo, 2009)

Após passar por diferentes ciclos os resultados mostram um início de degradação ao observar o aumento da região da banda de absorção para ligações duplas de carbono (C=C) podem aparecer em torno de 1640 cm^{-1} . Ao submeter a embalagem ao calor, ocorre a formação de ligações duplas, ou insaturações, como resultado da quebra das cadeias de polímero. Embora a banda de carbonila seja o principal indicador de oxidação, a presença de insaturações também pode ser um sinal de início de degradação. Isso pode ser observado na Figura 1, na análise do teste de 60 ciclos.

O índice de Insaturações ($1640\text{ cm}^{-1}/2720\text{ cm}^{-1}$) e o índice de Carbonilas ($1720\text{ cm}^{-1}/2720\text{ cm}^{-1}$) aumentam com a temperatura, e há uma correlação entre esses índices e a fração de cadeias clivadas, demonstrando que a formação desses grupos funcionais está ligada ao grau de degradação. (Cáceres, Canevarolo, 2009).

Nos resultados não foram encontrados o índice de carbonila, mas observa-se um aumento na região 1640 cm^{-1} . Os resultados são qualitativos, onde é possível observar o começo de uma degradação.

Figura 1 - Comparação entre o espectro da embalagem (pote) 0 ciclos com a embalagem (pote) 60 ciclos.



Fonte: Próprio autor

5 CONCLUSÃO

A análise dos resultados, obtidos por meio dos ciclos de exposição, demonstrou claramente a relação entre a exposição ao calor e a degradação do polipropileno. O estudo revelou que a degradação do material começa a se manifestar com a exposição do produto aos ciclos. Quanto mais a embalagem é submetida ao calor, maior a probabilidade de degradação. Esse fenômeno é uma consequência natural do estresse térmico repetido sobre o polímero.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA de embalagem. [2024?]. Disponível em: <https://www.abre.org.br/>. Acesso em 10 agosto 2025.

ABIPLAST. **Perfil 2020 da Indústria de Transformação de Plásticos**. São Paulo: Abiplast, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15443**: Fios, cabos e condutores elétricos — Verificação dimensional e de massa. Rio de Janeiro, 2006.

BARÃO, Mariana Zanon. Embalagens para produtos alimentícios. **Instituto de Tecnologia do Paraná–TECPAR**, 2011.

CANEVAROLO Jr, S.V.; BABETTO, A.C. Efeito do tipo de elemento de rosca na degradação de polipropileno durante múltiplas extrusões. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 90-99, 2000

CÁCERES, Carlos A.; CANEVAROLO, Sebastião V. Degradação do polipropileno durante a extrusão e a geração de compostos orgânicos voláteis. **Polímeros**, v. 19, p. 79-84, 2009.

FABRIS, Samanta; FREIRE, Maria Teresa de A.; REYES, Felix G. Reyes. Embalagens plásticas: tipos de materiais, contaminação de alimentos e aspectos de legislação. **Revista Brasileira de Toxicologia**, v.19 n.2 p. 59-70, 2006.

MIRANDA, Karine Leite de. Degradação de embalagens de polímeros commodities sob efeito de microondas. 2011

PIELICHOWSKI, Krzysztof; NJUGUNA, James; MAJKA, Tomas M. **Degradação térmica de materiais poliméricos**. Elsevier, 2022.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

¹ Mauricio Gloeden Fogolin (AUTOR)



Graduado em Engenharia Química pela Instituto Mauá de Tecnologia (2019) e pós-graduando em Engenharia de Polímeros pela Faculdade de Tecnologia SENAI Mario Amato (2025). Possui experiência em análises instrumentais aplicadas a diversas matrizes, com ênfase em cromatografia gasosa e líquida e técnicas espectrométricas, na área de Educação, tem experiência em Química, Química Analítica e Processos Químicos Industriais.

Atualmente é Instrutor de Formação Profissional III - SENAI - Departamento Regional de São Paulo, atuando como docente nos cursos da área de Química.

² André da Silva Siqueira (COORDINADOR)



Possui Mestrado em Engenharia de materiais e nanotecnologia pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2018), graduação em Química - Licenciatura/Bacharelado pela Universidade de Guarulhos (2009). Atualmente é Instrutor de Formação Profissional III - SENAI - Departamento Regional de São Paulo. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Química, Química Analítica, Processos Gráficos, Métodos e Técnicas de Ensino. Na indústria na área de desenvolvimento, produção e qualidade de embalagens. Em pesquisas nas áreas de tecnologia de materiais poliméricos.

³ Kerley Cristiane Victorino Romão (ORIENTADORA)



Avançada.

Possui graduação em Química pelo Centro Universitário Fundação Santo André (2004). Pós-Graduação em Gestão de Controles Ambientais pelo Senai. Mestrado pela Faculdade Medicina do ABC com ênfase em Fármacos. Atualmente professora de Graduação e Pós-Graduação da Faculdade Senai de Tecnologia "Mario Amato", no curso de Tecnologia em Polímeros. Ministra aulas na Pós-Graduação em Engenharia de Polímeros e na Pós-Graduação de Análise Instrumental