



ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DOS POLÍMEROS POLIPROPILENO E POLIETILENO EM AMOSTRAGEM DO SOLO DAS MARGENS DO RIACHO SITIÁ, QUIXADÁ, CEARÁ

Tavares, J. O.¹ *; Brito, R. M.¹; Lima, S. G.¹; Medeiros, F. J. F.¹; Feitosa, E. N.¹;
França, D. C.¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Quixadá,
Av. José de Freitas Queiroz, 5000 - CEP: 63902-580, Quixadá - CE/Brasil

*E-mail de correspondência: jairo.oliveira.tavares05@aluno.ifce.edu.br

RESUMO

Os polímeros são amplamente utilizados em setores como construção civil, alimentos e varejo, mas seu descarte inadequado causa problemas ambientais. Sabe-se que em média metade dos plásticos têm vida útil média inferior a três anos e acabam no meio ambiente. Este estudo analisou a biodegradação do polietileno e polipropileno coletados no campus do IFCE em Quixadá. Utilizou-se o solo das margens do Riacho Sitiá como substrato, investigando-se seu impacto na degradação desses materiais. Amostras foram expostas por 15, 30, 45, 60 e 90 dias e avaliadas por análise visual, perda de massa, MEV e FTIR. Os resultados mostraram a presença de vários buracos nos polímeros, agregação de partículas de solo e alterações na textura e estrutura química, indicando degradação. Conclui-se que esses polímeros contribuem para a poluição ambiental, e embora se degradem o processo é lento.

Palavras-chave: Plásticos; Biodegradação; Solo; Rio Intermitente.

INTRODUÇÃO

Os polímeros têm sido amplamente utilizados em diversos setores, e seu uso tem crescido com o tempo. Segundo relatório da World Wildlife Fund (WWF) sobre plásticos ⁽¹⁾, a produção mundial de plástico aumentou mais de 200 vezes desde 1950. A indústria de embalagens é a que mais utiliza esses materiais, dos quais metade têm vida útil média inferior a três anos. O uso excessivo resulta em um acúmulo de lixo que afeta seres vivos, aumenta emissões de CO₂ e gera microplásticos, danificando a biota terrestre com impactos pouco estudados ⁽²⁾.

De acordo com a Plastics Europe ⁽³⁾, as embalagens são majoritariamente de polipropileno (PP) e o polietileno (PE). Diante desses dados, foram coletadas amostras de plásticos provenientes da coleta seletiva realizada no IFCE Campus Quixadá, onde o maior montante é plástico. Essa coleta permite a investigação das características desses polímeros, sendo útil para analisar a vida útil e a degradação.

Pesquisas focam principalmente na degradação de plásticos em ambientes aquáticos, já estudos terrestres são menos frequentes ⁽²⁾. Em terra, os plásticos podem se reduzir a microplásticos (< 5 mm) e nanoplásticos (< 0,1 µm) devido a raios UV e forças mecânicas ⁽⁴⁾. Estes fragmentos estão em locais diversos e tem impactos pouco estudados ⁽⁴⁾.

Quando descartado, o plástico se transporta de várias formas. No caso de embalagens de PP e PE, que possuem densidade (g/cm³) menor que 1, permite que em água flutue, sendo transportados para diversos ambientes. Considerando os fatores hidrológicos, fluxo da água, velocidade e seu nível, e considerando ainda os aumentos e diminuições do volume de água, sabe-se que ocorre a deposição de polímeros em margens de rios e em zonas próximas com vegetação ⁽⁴⁾.

Com isso, é importante entender como esses tipos de polímeros depositados nas margens dos rios se degradam, levando em consideração não diretamente o corpo aquático, mas o solo onde os plásticos podem se destinar com as dinâmicas dos rios. O estudo ganha mais relevância quando considerado não só um rio perene, mas também os rios intermitentes que são mais abundantes na região de pesquisa.

Rios intermitentes secam e enchem a depender da estação, devido a influência de chuvas irregulares e mal distribuídas. São encontrados em regiões áridas, semiáridas e em clima mediterrâneo, sendo seu uso especialmente para agricultura. Além disso, tendem a se tornar comuns com o avanço das mudanças climáticas e o maior uso da sua água ⁽⁵⁾. Considerando a dinâmica dos rios intermitentes e seu aumento futuro, o solo pode interagir de formas diferentes com os polímeros, devido às variações de umidade ao longo do ano.

MATERIAIS E MÉTODOS

O IFCE Campus Quixadá, em parceria com os catadores da região, realiza a coleta seletiva em postos de coleta no campus. Os polímeros mais comumente coletados são o PP (Polipropileno), proveniente de copos descartáveis, e o PE

(Polietileno), obtido de sacos plásticos utilizados como embalagens para lanches. Com base nisso, foram coletados copos e sacos plásticos usados para produzir 100 amostras padronizadas. Foram produzidas 50 fitas de PP, medindo 10 mm x 75 mm, e 50 filmes de PE, com dimensões de 180 mm x 180 mm. Todas as amostras foram numeradas e pesadas em uma balança de precisão, modelo Shimadzu AUW Séries.

A princípio a coleta do solo foi feita ao longo das margens do Riacho Sitiá próximo ao IFCE campus Quixadá, em pontos onde existe um maior depósito de solo. Após a coleta, o solo foi transportado para o Campus e colocado em um local a céu aberto para manter as características externas, onde foi regado diariamente durante uma semana a fim de estimular a biota a se desenvolver, além de cercá-lo no intuito de evitar interferência de animais domésticos.

Após esse tempo as amostras foram introduzidas e observadas, sendo checado a integridade do local de experimento e repetindo a rega do solo com as amostras a cada dois dias para manutenção da umidade. Foram coletadas amostras nos tempos de 15, 30, 45, 60 e 90 dias para analisar sua degradação.

As amostras foram caracterizadas por:

- Análise visual - Fotografias com as amostras
- Perda de Massa - Aplicou-se a Fórmula A, empregada em outros estudos⁽⁶⁻⁸⁾, onde W0 e W1 são respectivamente a massa antes e após ir ao solo.

$$(A) \quad W\% = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \cdot 100$$

- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) - utilizou o equipamento Hitachi™ 3000, pertencente ao Laboratório de Microscopia Eletrônica do Departamento de Geologia da UFC.
- Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) - equipamento Espectrômetro FTIR Cary 630 da Agilent Technologies também pertencente à UFC.

RESULTADOS E DISCURSSÕES

Análise Visual

A Figura 1 apresenta as amostras feitas a partir dos copos descartáveis de polipropileno (PP). Observa-se na imagem todos os corpos de prova em estudo, desde

a virgem até o exposto ao maior intervalo de tempo. Ocorreu ao longo do tempo uma variação na coloração devido à presença de materiais agregados, além de um leve aumento no tamanho das amostras, indicativo da perda de características de design do material, como as curvas dos copos.

É possível notar um ressecamento na parte superior das amostras de PP, isso se dá pela posição em que as amostras se encontravam no solo, sendo essa parte a que recebeu maior incidência solar. A radiação (UV) age nas cadeias poliméricas quebrando ligações químicas como C-C, C-H, C-O e O-H, o que promove a cisão das cadeias ⁽⁹⁾.

Figura 1 – Amostras coletadas nos diferentes intervalos de estudo do PP.

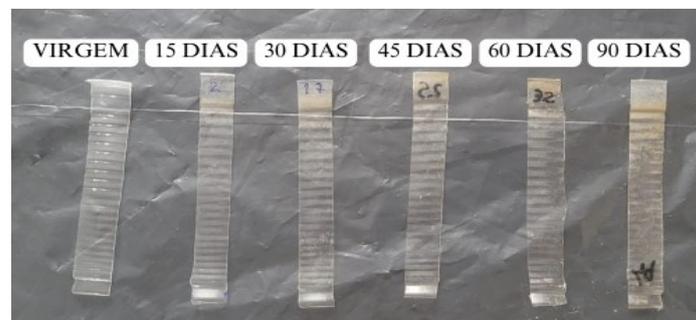
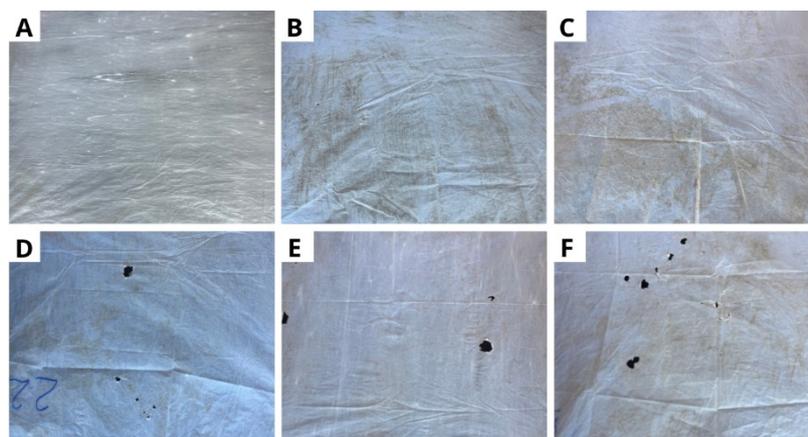


Figura 2 – Amostras coletas ao longo dos tempos do PE



A Figura 2 ilustra as amostras de Polietileno nos diferentes intervalos. É possível observar sinais de degradação de forma progressiva e visualmente detectável. As amostras têm mudanças na sua coloração devido ao material

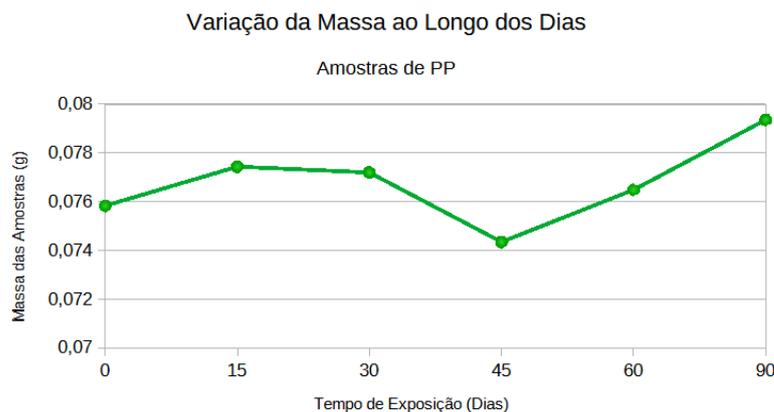
particulado do solo, estes se agregaram de forma bem evidente nos filmes em todos os tempos de exposição.

A amostra de 90 dias exibe numerosos furos e sua integridade está visivelmente comprometida, tornando-se mais propensa a esfarelar. A fragmentação observada durante a coleta após 90 dias sugere que o mesmo tipo de material agregado, presente nas amostras anteriores, também se aderiu à amostra no final do período, mas se soltou devido à fragilização do material. Essas rupturas e buracos são consistentes com observações feitas em outros estudos ⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾.

Perda de Massa

Ao longo dos dias de experimento foi possível observar a massa das amostras apresentando variações conforme as pesagens. Em ambos os tipos de polímeros é apresentado um ganho de massa inicial que vai variando conforme o tempo aumenta.

Gráfico 1: Perda de massa do PP ao longo dos 90 dias



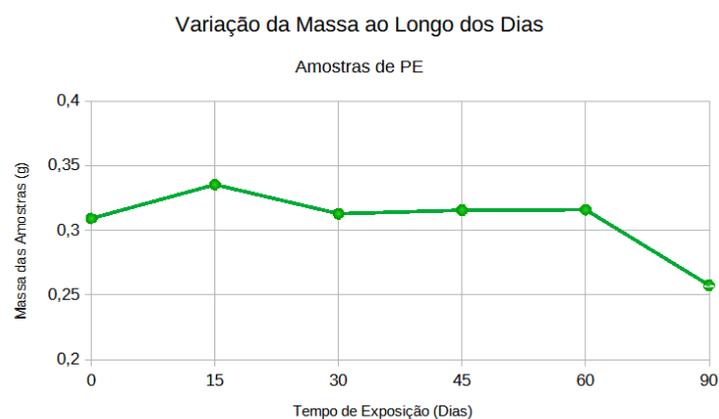
No Gráfico 1 é possível notar o comportamento da massa, percebendo as diferenças de peso à medida que o experimento ocorre. As amostras em geral, com exceção aos 45 dias, ganham peso, tal fato pode ser atribuído a rugosidade adquirida pelo material. À medida que a amostra se degrada, a superfície se torna mais irregular, gerando assim lacunas onde partículas podem se agregar em maior quantidade gerando o aumento do peso ⁽¹¹⁾.

Essa perda de massa relacionada ao PP mostra tanto a dificuldade aparente de degradação do polímero quanto também a influência do ambiente sobre o peso da amostra. Além disso, essa perda de massa pode variar conforme o solo e o clima,

destacando a necessidade de realizar pesquisas em diferentes cenários para compreender plenamente os mecanismos de degradação do polipropileno em diversos ambientes. Para os valores ilustrados no Gráfico 1, nota-se variações diferentes a cada tempo, deixando nítida a dificuldade de atribuir um padrão às variações de massa. Os valores apresentam aumento inicial que vai caindo conforme os dias, mas que voltam a subir nos tempos mais elevados de exposição.

O Gráfico 2 apresenta os valores em gramas das amostras de PE durante todo o intervalo em estudo. Fica evidente um pequeno ganho de massa inicial, uma estabilização no meio e perda ao fim do experimento. Esse ganho inicial pode se dar pela absorção de umidade e por partículas de solo que se agregam ao material e são de difícil remoção, indicado também na Figura 2 através da cor.

Gráfico 2: Perda de massa do PE ao longo dos 90 dias



A perda de massa de mais de 16% após 90 dias evidencia a degradação do polietileno. Essa degradação é diretamente influenciada pelas características climáticas específicas da região de pesquisa. A alta incidência solar, devido à proximidade com a linha do equador, juntamente com as variações de temperatura do dia e noite, são fatores que contribuem para esses resultados. Outros estudos também apontam para a interferência climática na degradação do polietileno, observando perdas em condições de clima e composição de solo diferentes. ⁽⁷⁾⁽¹¹⁾.

A perda de peso do PE é provavelmente resultado das degradações físicas e biológicas, a ação do clima local corrobora com a degradação física, onde ela age na descaracterização da hidrofobia e entrega maior possibilidade para a biodegradação ⁽¹²⁾. Essa perda de peso também configura certo grau de despolimerização das longas

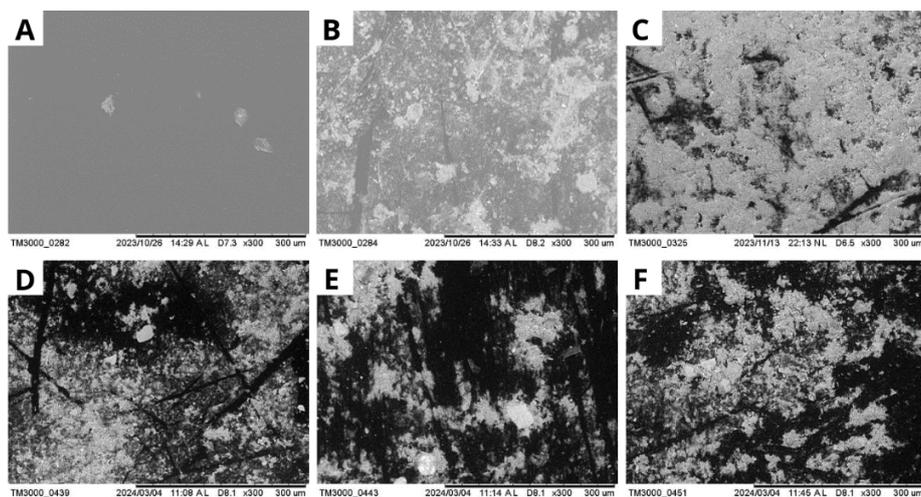
cadeias do PE, a qual permite a possibilidade da utilização do carbono do polímero pela biota do solo para seu próprio crescimento, assim também, afetando o ciclo biogeoquímico como é evidenciado por Huang et al. ⁽⁸⁾ em seu trabalho.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura 3 apresenta a micrografia do PP (A – virgem, B - 15 dias, C – 30 dias, D – 45 dias, E – 60 dias e F – 90 dias). A princípio o PP é liso e homogêneo, sem partículas aderidas e sem sinais visíveis de degradação. Na Figura 3 B e C, a superfície tem partículas agregadas, possivelmente de solo. Aos 30 dias, houve um aumento significativo nas partículas aderidas e rugosidade da superfície, com presença de ranhuras, sugerindo uma degradação física. Aos 45 dias, a presença de material particulado continuou a crescer, houve um aumento na rugosidade e aumenta o número de linhas escuras no corpo de prova, essas linhas por sua vez podem ser provenientes de áreas onde o solo não aderiu de forma significativa.

Observando a Figura 3 E e F, a degradação física do polipropileno é visível diante dos arranhões e do material agregado evidente em relação às demais micrografias. Há uma ligeira progressão entre os 60 e 90 dias em relação ao aumento do material agregado e se mostra fragilizando de forma lenta.

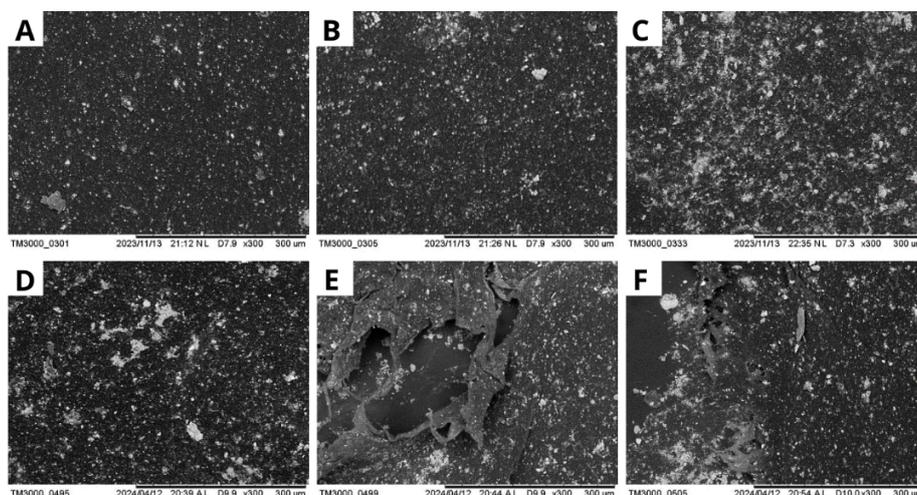
Figura 3 - MEV do Polipropileno ao longo dos tempos, com aumento de 300.



A Figura 4 exibe as micrografias do PE com os intervalos de estudo. O corpo de prova original (Figura 4 –A) mostra a superfície homogênea, sem partículas aderidas ou sinais de degradação. Nos intervalos de 15, 30 e 45 dias (Figura 4 - B, C

e D) é notado aumento de agregados ao polímero, possivelmente provenientes do solo, tornando as amostras rugosas e indicando o início da degradação física. Aos 60 dias (Figura 4 – E), a degradação do polietileno tornou-se visível, com grandes fissuras e buracos na superfície, sugerindo uma degradação significativa. Aos 90 dias (Figura 4 –F), a superfície do polietileno apresentou ainda mais fissuras e uma maior deterioração em comparação aos 60 dias, com a estrutura do material visivelmente comprometida, evidenciando áreas de degradação e fragmentação.

Figura 4 - MEV do Polietileno ao longo dos tempos, com aumento de 300x.



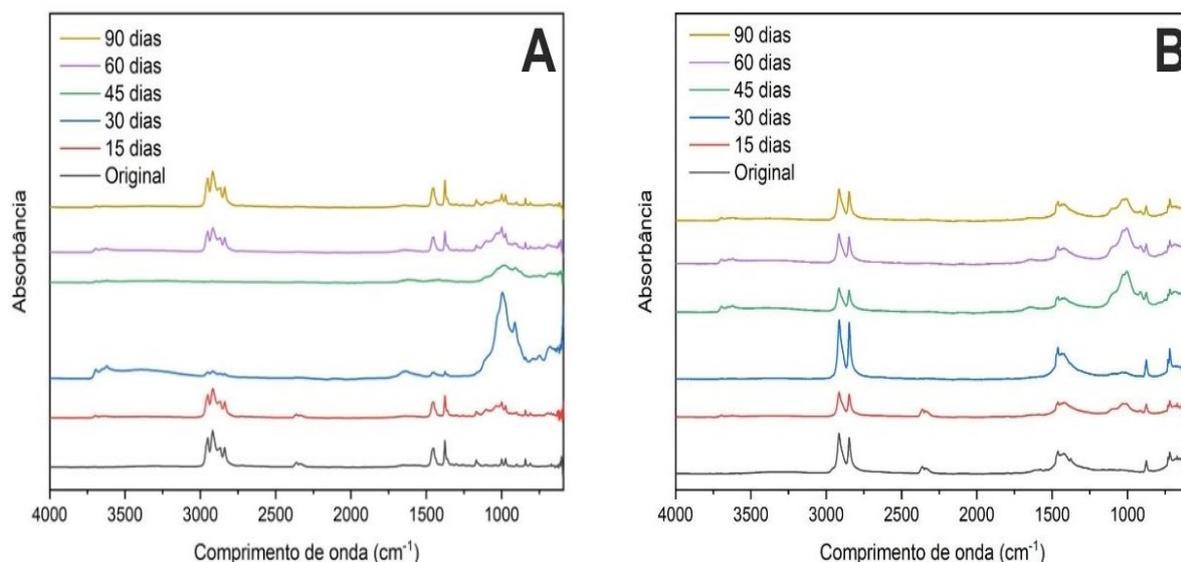
Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

No espectro de FTIR do polipropileno (PP) identificados na Figura 5 A, foram identificados picos característicos nas regiões de 3000 a 2770 cm^{-1} comumente atribuídos aos variados estiramentos de CH simétricos e assimétricos ^(13, 14), 1451 e 1377 cm^{-1} também são atribuídos ao PP sendo bandas de deformação respectivas ao CH₂ e CH₃ ⁽¹³⁾, e um leve pico na região de 1014 a 960 cm^{-1} . Além disso, observou-se um leve pico entre 2390 e 2284 cm^{-1} . Após a exposição do PP ao solo, mudanças pontuais foram detectadas ao longo do tempo.

Aos 15 dias de exposição, surge uma leve banda de 3600 a 3700 cm^{-1} , que se mantém nos períodos subsequentes e é relacionada à incrustação de solo, mais precisamente em 3694 cm^{-1} ⁽¹⁴⁾. Por fim, foi observado oscilações próximas a 1000 cm^{-1} em todas as amostras expostas ao solo onde também se sugere a presença de componentes do solo devido a picos indicadores em 1005 cm^{-1} e 915 cm^{-1} (Minerais) e em 1030 cm^{-1} , relacionada à parte orgânica ⁽¹⁴⁾. No geral o polipropileno se mostra

firme a intempéries e sem tantas alterações químicas diante do FTIR, esses resultados estão de acordo com os demais e ressaltam também o aumento da massa notada nas pesagens devido ao solo agregado.

Figura 5: Espectro FTIR do PP representado em A e do PE em B



No PE identificados na Figura 5 B, são observados picos característicos em 2847 cm^{-1} e em 2915 cm^{-1} correspondentes ao alongamento forte simétrico e assimétrico de CH_2 ⁽¹⁵⁾, além de o PE também apresentar um pico significativo em 1461 cm^{-1} referente a um alongamento de $\text{C}=\text{C}$ ⁽¹⁵⁾. Também é característico o pico em 719 cm^{-1} relacionado a uma ligação $\text{C}-\text{H}$, onde pode variar a intensidade ⁽¹¹⁾. Se observa uma banda em 2380 cm^{-1} até 2300 cm^{-1} que se apresenta até os 15 dias e pode ser atribuída a algum resquício do uso do polímero que se degradou em solo, considerando que outras caracterizações do PE não identificam a banda ^(11, 15).

Com a exposição ao solo, algumas mudanças são notadas. Na frequência próxima 3610 cm^{-1} é observado um pequeno princípio de banda relacionada a um hidropéroxido que indica possível fotodegradação ⁽¹⁴⁾. Além disso, uma banda nova emerge entre 1000 cm^{-1} e 1100 cm^{-1} aos 30 dias de exposição, intensificando-se nos períodos subsequentes e evidenciando pico em 1005 cm^{-1} e 1030 cm^{-1} que são frequências de estiramento dióxido de silício e estiramento de sulfóxido respectivamente ⁽¹⁴⁾. A presença de dióxido de silício vem do contato com o solo e que corrobora com os outros dados apresentados anteriormente. É perceptível que houve

mudanças químicas no PE, tais mudanças são relacionadas ao contato com o solo e a degradação, que embora não tenha sido tão intensa, se mostrou presente na mesma proporção em todos os experimentos.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que ambos os polímeros, PE e PP, sofreram degradação, com o PE apresentando maior degradação em comparação ao PP, evidenciando a maior resistência deste último. Além disso, a incrustação de material do solo foi uma alteração notável em ambos os plásticos. Esses resultados destacam a importância de considerar tanto os aspectos físicos quanto os químicos na avaliação da degradação de polímeros em ambientes naturais. As descobertas deste estudo são valiosas para a compreensão dos impactos ambientais desses materiais e para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes na gestão de resíduos plásticos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo fomento à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- (1) **World Wildlife Fund**. Solving Plastic Pollution: Transparency and Accountability. 2019. Disponível em: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/51804/1552932397PLASTIC_REPORT_02-2019_Portugues_FINAL.pdf. Acesso em: 07 mar. 2023.
- (2) MACHADO, A. A. S.; KLOAS, W.; ZARFL, C.; HEMPEL, S.; RILLIG, M. C. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. **Glob. Change Biol.**, v. 24, p. 1405-1416, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14020>
- (3) **Plastics Europe**. Plastics - the Facts 2022. Brussels: Plastics Europe. Disponível em: https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2022/10/PE-PLASTICS-THE-FACTS_V7-Tue_19-10-1.pdf. Acesso em: 15 mar. 2023.
- (4) VAN EMMERIK, T.; SCHWARZ, A. Plastic debris in rivers. **WIREs Water**, v. 7, e1398, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wat2.1398>

- (5) MORAIS, M. M.; PEDRO, A.; ROSADO, J. **Rios temporários: do excesso à escassez**. 2006. Disponível em: <http://home.dbio.uevora.pt/~mmorais/docs/Rios%20tempor%20rios%20do%20excesso%20%E0%20escassez.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2023.
- (6) CAMPOS, A.; MARCONATO, J. C.; FRANCHETTI, S. M. M. Biodegradação de Filmes de PP/PCL em Solo e Solo com Chorume. **Polímeros**, v. 20, n. 4, p. 295-300, 2010.
- (7) FOLLMANN, A. J. *et al.* Degradação de sacolas plásticas convencionais e oxibiodegradáveis. **Ciência e Natura**, v. 39, p. 186-192, 2017. DOI: 10.5902/2179460X24176. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/24176>. Acesso em: 4 mar. 2024.
- (8) HUANG, D. *et al.* Degradation of polyethylene plastic in soil and effects on microbial community composition. **Journal of Hazardous Materials**, v. 416, p. 126173, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126173>. Acesso em: 04 jun. 2024.
- (9) MONTAGNA, L. S.; SANTANA, R. M. C. Influência da radiação solar na degradação do polipropileno. In: 3º **Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**, 2012.
- (10) SOUZA, G. *et al.* Biodegradação de polietileno e bioplástico no solo. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. Universidade de Taubaté, v. 11, p. 1172-1180, 2016. DOI: 10.4136/ambi-água.
- (11) SANTALIESTRA E SILVA, P. H. **Estudo da degradação de blendas contendo materiais biodegradáveis em solo controlado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.
- (12) ARUTCHELVI, J.; SUDHAKAR, M.; ARKATKAR, A.; DOBLE, M.; BHADURI, S.; UPPARA, P. V. Biodegradation of polyethylene and polypropylene. **Indian Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 1, p. 9-22. 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228090462_Biodegradation_of_polyethylene_and_polypropylene

(13) BUČEK, A.; POPELKA, A.; ZAHORANOVÁ, A.; KOVÁČIK, D.; NOVÁK, I.; ČERNÁK, M. Acrylic Acid Plasma Treatment of Polypropylene Nonwoven Fabric. **Fibres and Textiles in Eastern Europe**, v. 24, n. 6(120), p. 45-51, dez. 2016. DOI: 10.5604/12303666.1221751.

(14) RESENDE, V. Z. E. **Avaliação da degradação de plásticos em condições ambientais semi-controladas**. 2023. 87 f. Dissertação (Mestrado em Química) — Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas. Orientadora: Profa. Dra. Cassiana Carolina Montagner. Campinas, 2023.

(15) VECIANA, R.; BUSTO, M.; SÁNCHEZ, J. L. A new insight into the weatherability of high-density polyethylene greenhouse films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 103, n. 3, p. 2012-2021, 2007.

ANALYSIS OF THE DEGRADATION OF POLYPROPYLENE AND POLYETHYLENE IN SOIL SAMPLES FROM THE BANKS OF THE SITIÁ STREAM, QUIXADÁ, CEARÁ

ABSTRACT

Polymers are widely used in sectors such as construction, food, and retail, but their improper disposal causes environmental problems, at least half of the plastics have an average lifespan of less than three years and end up in the environment. This research analyzes the biodegradation of polyethylene and polypropylene, the polymers collected on the IFCE campus in Quixadá. The soil from the banks of the Sitiá Stream was used as a substrate to investigate its impact on the degradation of these materials. Samples were exposed for 15, 30, 45, 60, and 90 days, and evaluated through visual analysis, mass loss, SEM, and FTIR. The results showed holes in the polymers, aggregation of soil particles, and changes in texture and chemical structure, indicating degradation. It is concluded that these polymers contribute to environmental pollution, and although they degrade, the process is slow.

Keywords: Plastics; Biodegradation; Soil; Intermittent River.