

LENÇOS UMEDECIDOS E SUSTENTABILIDADE: O POTENCIAL DO BIOPOLÍMERO *ECOVIO*[®]

Mariana Salles Pizzi (instituição de origem: Universidade Anhembi Morumbi / pizzinamari@gmail.com); Msc. Leandro Érico Batista (orientador).

RESUMO

Os lenços umedecidos são versáteis e práticos, o que os tornaram uma necessidade no mundo contemporâneo. Entretanto, o tecido do lenço umedecido é feito de TNT, que possui fibras de poliéster e de viscose – ambas oriundas do petróleo - em sua composição. Dessa forma, como não é feito a partir de material biodegradável, seu uso contínuo desencadeia o aumento do consumo de plástico e a poluição ambiental, pois quando degradado, gera o microplástico como principal resíduo.

Portanto, em vista da atual situação do planeta e das novas tendências de produzir produtos que sejam aliados a sustentabilidade, faz-se necessário buscar soluções agradáveis e viáveis que sejam ecologicamente corretas e proporcionem conforto ao consumidor, como por exemplo, o uso de biopolímeros capazes de produzirem fibras. O projeto escolheu o biopolímero *Ecovio*[®] F Blend C2224, produzido pela empresa alemã BASF, que é uma mistura entre dois biopolímeros: PBAT - poli(butileno adipato-co-tereftalato) - e PLA – poli(ácido láctico). As características desses dois biopolímeros que compõem o *Ecovio*[®] são condizentes com o estudo proposto, pois podem produzir fibras e são ótimas alternativas para substituir o TNT, devido a pesquisas anteriores que comprovaram sua eficácia.

Para tanto, foi realizado um estudo da viabilidade da aplicação do *Ecovio*[®] em lenços umedecidos através das seguintes análises: Análise Termogravimétrica (ATG), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Ensaio de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), Pícnometria de Hélio (PHe) e ensaio de degradação biológica.

Os resultados obtidos demonstraram que o *Ecovio*[®] pode ser considerado uma alternativa viável para substituir o TNT em lenços umedecidos, levando em consideração aspectos ambientais. No entanto, é recomendado conduzir pesquisas adicionais (como interações com os compostos químicos dos lenços), testes de desempenho e avaliações de viabilidade econômica para determinar se os lenços umedecidos feitos com PLA e PBAT seriam uma opção adequada e eficiente.

INTRODUÇÃO

Os lenços umedecidos são produtos de higiene que consistem em toalhas descartáveis ou reutilizáveis umedecidas com uma solução líquida contendo água, fragrâncias e conservantes. São utilizados para retirar maquiagem, higienizar superfícies (ação desinfetante) limpar o rosto ou a pele, e como alternativa ao banho em locais que não tem acesso à água. Entretanto, a maioria dos lenços umedecidos não são feitos de materiais biodegradáveis, e seu uso contínuo desencadeia o aumento do consumo de plástico e a poluição ambiental.

O tecido não tecido (TNT), cujas principais matérias-primas são fibras à base de petróleo (principalmente fibras de poliéster) e fibras de bio-base (principalmente fibras de viscose), é o componente predominante dos lenços umedecidos. Quando degradado, o TNT gera como resíduo os microplásticos, sendo compostos principalmente por fibras sintéticas. Essas microfibras generalizadas podem ser

ingeridas por organismos marinhos, e têm o potencial de acumular e ameaçar a estabilidade dos ecossistemas (HU *et al.*, 2021).

Além disso, devido a sua variedade de aplicações, propriedades, versatilidade e preço, o consumo de plásticos aumentou exponencialmente no mundo todo, chegando a mais de 100 milhões de t/ano de plásticos produzidos. Conseqüentemente, é grande a quantidade de resíduos plásticos descartados no meio ambiente, isto é, 20% do volume total e a grande parte deles exigem mais de 100 anos para degradação total, tendo em vista que sua alta massa molar média e hidrofobicidade dificultam a ação dos microrganismos e de suas enzimas na superfície do polímero (FRANCHETTI, MARCONATO, 2006).

Aliar sustentabilidade à saúde e ao meio ambiente é um dos principais desafios no cenário atual das marcas. Dito isso, é válido ressaltar os empecilhos que os lenços umedecidos geram ao meio ambiente, uma vez que sua degradação é dificultada devido a sua composição química e as fibras sintéticas que são utilizadas para fazer o tecido. Com o avanço da tecnologia e pesquisas voltadas à substituição de materiais poluentes e não renováveis por alternativas que não agridam o meio ambiente, ficou-se mais evidente a urgência de modificar e atualizar a forma como os lenços umedecidos são feitos.

Assim, os biopolímeros capazes de produzir fibras – já bastante explorados no mundo têxtil, por exemplo - surgem como uma excelente possibilidade a um caminho mais sustentável, pois são feitos a partir de material orgânico e se decompõem facilmente, preservando os ecossistemas. Com isso, torna-se interessante incorporá-los cada vez mais aos produtos do dia a dia, e inseri-los de forma crescente e inovadora no mundo químico.

Palavras-chave: Biopolímeros, Biodegradação, Sustentabilidade.

METODOLOGIA

Foram obtidos cerca de 150 gramas da amostra de *Ecovio*[®] F Blend C2224, disponibilizados através de uma parceria com o Laboratório de Caracterização Tecnológica da Universidade de São Paulo (LCT – USP).

Para atingir o objetivo proposto pelo trabalho, as amostras de *Ecovio*[®] foram caracterizadas por análises físicas e morfológicas, e também submetidas ao ensaio de biodegradação.

As análises termogravimétrica (TGA) e calorimetria exploratório diferencial (DSC) foram realizadas simultaneamente em um equipamento modelo STA 449 F3 Jupiter, da marca Netzsch, disponível no Laboratório de Caracterização Tecnológica da USP. As análises foram realizadas em uma faixa de temperatura de 30°C a 450°C (30°C/10.0 K/min/450°C) em uma atmosfera de N₂.

A determinação da massa específica foi efetuada por picnometria com intrusão de gás hélio, em equipamento da marca Micromeritics, modelo AccuPyc II 1340, com 10 ciclos de purga.

As superfícies das amostras foram analisadas morfológicamente em um microscópio eletrônico de varredura da marca FEI, modelo Quanta 650FEG. Todas as amostras analisadas tiveram suas superfícies recobertas com carbono, e não foram fraturadas em condições criogênicas.

O ensaio de biodegradação foi feito em condições brandas, utilizando uma abordagem de ensaio em casa. Inicialmente, foram selecionadas três amostras de diferentes

massas, as quais foram pesadas em uma balança analítica de cinco casas decimais da marca Shimadzu, modelo AUW 220. Essa mesma balança foi utilizada na pesagem durante todo o experimento.

Depois, foi criado um ambiente propício para a atividade microbiana e a degradação das amostras. Para isso, foram utilizados um vaso de flor limpo (recipiente de ensaio), terra preta e gel próprio para cultivo.

O recipiente de ensaio foi colocado em um local adequado, recebendo luz solar constante e sendo umedecido conforme necessário para evitar o ressecamento da terra e do gel. As condições iniciais como data de início do ensaio, material testado e massa inicial foram registradas.

Ao longo do período do ensaio, fotografias periódicas foram tiradas para acompanhar o progresso da biodegradação e as massas foram pesadas mensalmente para analisar se estava, de fato, havendo a degradação do material. Os dados obtidos foram colocados em um gráfico de massa/tempo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se, primeiramente, as análises de caracterização das amostras de *Ecovio*[®] para avaliação de suas propriedades físico-químicas, e, posteriormente, o ensaio de biodegradação realizado em condições brandas.

Picnometria de Hélio (PHe)

A tabela 1 apresenta o resultado obtido das propriedades físicas do *Ecovio*[®], como a massa específica, volume e seus respectivos desvios padrão e corresponde à média de dez determinações.

Tabela 1 – Resultados da determinação da massa específica e volume do *Ecovio*[®]

Massa específica (g/cm ³)		Volume (cm ³)	
Média	Desv. Pad	Média	Desv. pad
1,2562	0,0003	5,3425	0,0012

Inicialmente, é importante destacar que o desvio padrão é uma medida estatística que indica o grau de dispersão dos valores em relação à média em um conjunto de dados. Ou seja, se o desvio padrão for baixo, significa que os valores estão próximos da média, indicando uma menor dispersão dos dados; se o desvio padrão for alto, indica que os valores estão mais distantes da média, sugerindo uma maior dispersão ou variabilidade nos dados. Assim, de acordo com os resultados obtidos, nota-se que os valores para o desvio padrão de ambas análises estão baixos, indicando uma maior precisão dos dados em relação à média.

Com relação ao valor encontrado para a massa específica pode-se notar que é baixo, ou seja, é um material leve, sendo vantajoso em aplicações onde o peso é um fator importante. Além disso, a baixa massa específica indica que uma determinada quantidade do biopolímero ocupa um maior volume (como mostrado pelo valor obtido na tabela 1), o que o torna relevante em produtos que precisam ter uma aparência ou sensação volumosa.

Dessa forma, diante das análises dos resultados obtidos, um biopolímero com massa específica baixa seria ideal para aplicação em lenços umedecidos e traria os seguintes benefícios:

- A leveza proporcionada pelo baixo peso específico do biopolímero contribui para a suavidade e conforto dos lenços. Eles se tornam mais leves e fáceis de manusear, o que é vantajoso para o usuário durante o uso.
- A baixa massa específica pode permitir que os lenços umedecidos absorvam e retenham mais líquido em relação a materiais mais densos. Isso é benéfico para a finalidade dos lenços, pois eles precisam ser capazes de reter uma quantidade adequada de solução umedecedora para fornecer a umidade necessária durante o uso.

Portanto, a análise da densidade do *Ecovio*[®] indica que ele pode ser considerado uma boa alternativa para a fabricação de lenços umedecidos biodegradáveis.

Análise térmica (TGA e DSC)

As figuras 14 e 15 apresentam os gráficos obtidos por análises de TGA (com a Termogravimetria Calculada – DTG) e DSC, respectivamente, para o *Ecovio*[®].

Figura 14 – Análise Termogravimétrica e Termogravimetria Derivada da amostra de *Ecovio*[®].

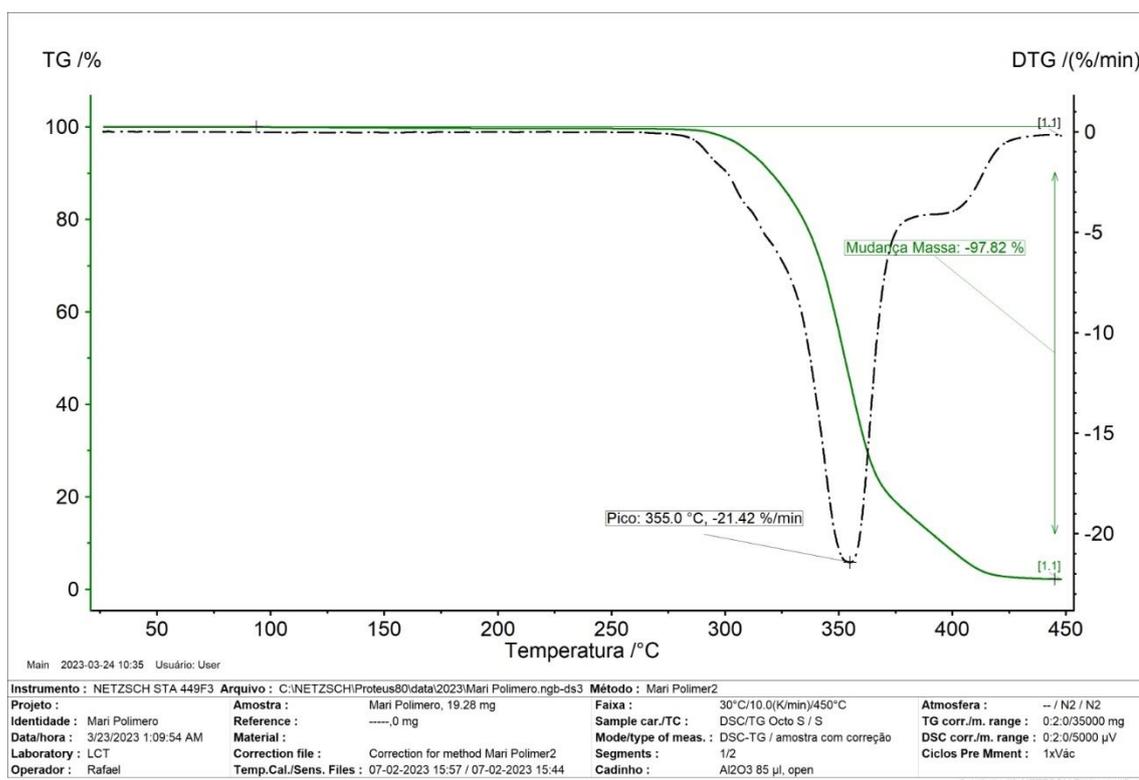
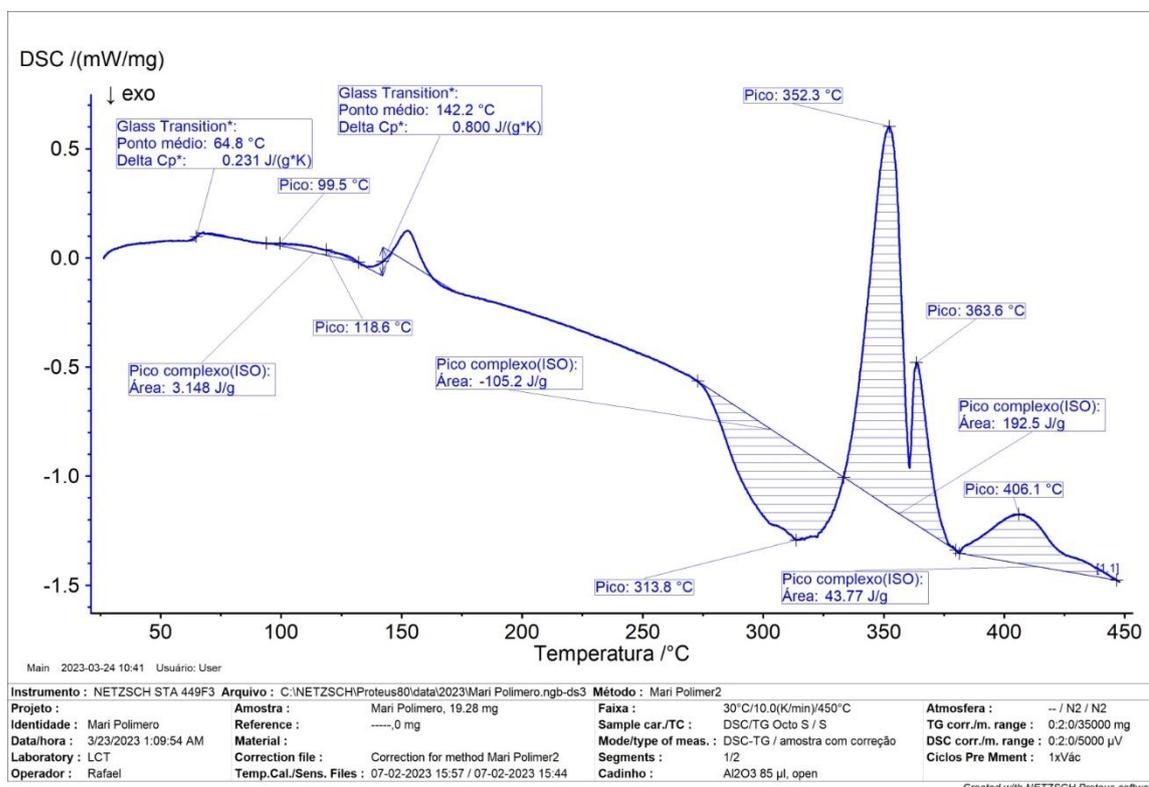


Figura 15 – Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial da amostra de *Ecovio*[®]



Analisando o gráfico da figura 14, pode-se observar que a amostra começa a perder sua estabilidade térmica por volta dos 300°C, e mais adiante, há um pico onde mostra que em 355°C ocorre uma mudança significativa na taxa de decomposição da mesma, perdendo 21,42% de massa por minuto.

A interpretação desse pico pode indicar que houve decomposição térmica de compostos específicos presentes na amostra – tanto o PLA quanto o PBAT sofrem decomposição térmica em faixas de temperaturas relativamente altas - e a ocorrência de reações químicas, como por exemplo, a liberação de compostos voláteis presentes na amostra.

De acordo com o gráfico de DSC apresentado na figura 15, por se tratar de uma blenda polimérica, o *Ecovio*[®] apresentou duas temperaturas de transição vítrea (Tg), ambos referentes a cada componente da blenda. A Tg refere-se à temperatura em que um material amorfo (sem uma estrutura cristalina regular) sofre uma mudança na sua natureza física, passando de um estado vítreo rígido para um estado mais flexível e elástico. Ou seja, em 64.8°C e 142.2°C, as cadeias moleculares do material começaram a mover-se mais livremente, o que levou a uma mudança nas suas propriedades mecânicas, térmicas e viscoelásticas.

Além disso, o ponto de fusão da amostra é em 352.3°C – indicado pelo grande pico visto no gráfico 15. Quando um biopolímero possui um ponto de fusão alto, isso geralmente sugere que o material tem uma estrutura molecular mais estável e resistente ao calor. É importante notar que todos os picos citados estão com sua curva para cima, indicando que é uma reação endotérmica.

Portanto, ao considerar a viabilidade de utilizar um biopolímero em um lenço umedecido biodegradável, é importante entender as propriedades térmicas do material, pois ajudam a determinar a estabilidade térmica do mesmo durante o

processo de produção e também sua resistência ao calor durante o uso, além de estimar a faixa de temperatura que ocorre a degradação térmica do biopolímero. Assim, a partir das análises feitas, o *Ecovio*[®] se mostra promissor para aplicação em lenços umedecidos pois um ponto de fusão alto pode ter implicações positivas, tais como:

- Resistência ao calor durante o uso: se o lenço umedecido estiver exposto a temperaturas elevadas durante o uso, um biopolímero com ponto de fusão alto pode ser vantajoso, pois o material será mais resistente e menos propenso a derreter ou deformar. Isso pode garantir que o lenço mantenha sua integridade estrutural e desempenhe sua função adequadamente.
- Estabilidade durante o processo de umedecimento: durante o processo de umedecimento do lenço, o material precisa suportar a adição da solução umedecedora, que geralmente envolve a aplicação de calor ou vapor em temperaturas elevadas. Um biopolímero com ponto de fusão alto pode ser mais estável nesse processo, evitando que o material se desintegre ou perca suas propriedades ao entrar em contato com a solução umedecedora.

Por outro lado, um ponto de fusão alto pode exigir temperaturas mais elevadas e processos de moldagem específicos, o que pode aumentar os custos e a complexidade da produção do lenço umedecido.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os resultados da análise de Microscopia Eletrônica de Varredura estão apresentados nas figuras 16 a 20.

Figura 16 – Micrografia da superfície da amostra de *Ecovio*[®] com aumento de 100 vezes

Figura 17 – Micrografia da superfície da amostra de *Ecovio*[®] com aumento de 2000 vezes

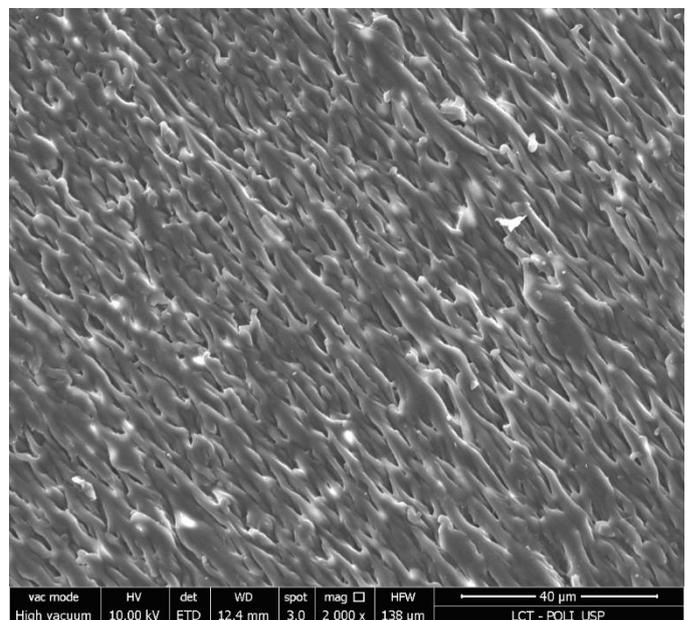
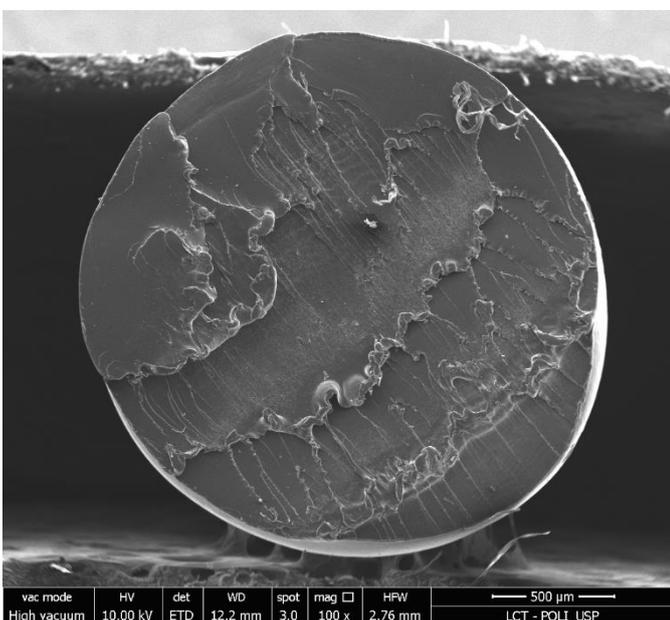


Figura 18 – Micrografia da superfície da amostra de Ecovio® com aumento de 500 vezes

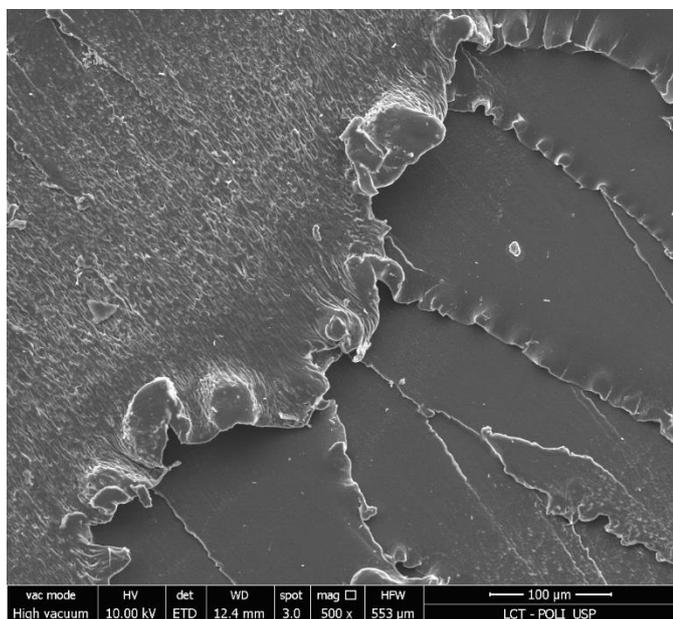


Figura 19 – Micrografia da superfície da amostra de Ecovio® com aumento de 2000 vezes

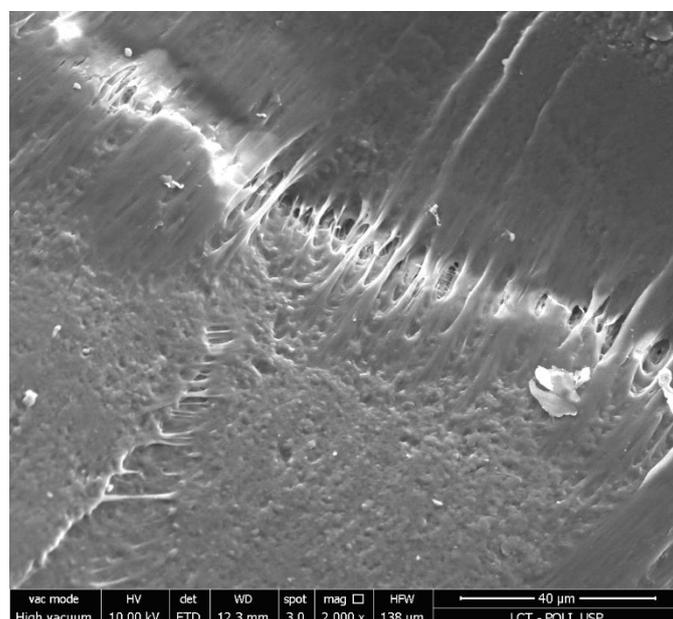
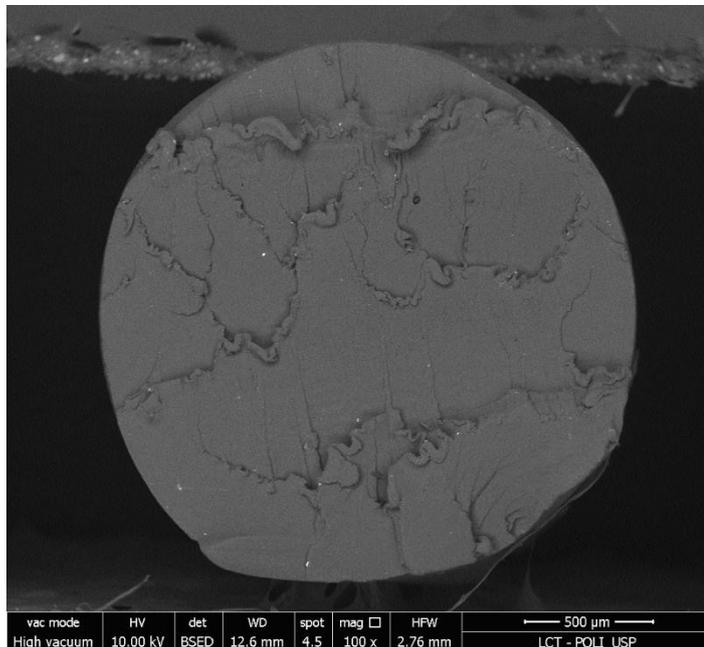


Figura 20 – Micrografia da morfologia química da amostra de Ecovio® com aumento de 100 vezes



De acordo com as micrografias apresentadas pode-se concluir que:

- As amostras possuem uma superfície irregular, de acordo com o observado nas figuras 16 e 18, sendo mais desnivelada no centro e com as bordas lisas. Esse aspecto provavelmente provém da forma como elas foram fraturadas, e por não ter sido em nitrogênio, adquiriram essa aparência. Não possui textura porosa.

- Nas figuras 17 e 19 é possível perceber as fibras do *Ecovio*®, as quais são bem estruturadas e rígidas, formando vários conjuntos.
- Na figura 20, vê-se que sua composição é predominantemente homogênea, de materiais leves (carbono e hidrogênio). Os pontos brancos são contaminantes, que podem ter vindo ou na hora do preparo/fratura das amostras pela indústria ou no momento da preparação para análise no MEV.

Assim, ter um biopolímero que produz fibras, não tem textura porosa, é homogêneo e bem estruturado é altamente relevante para um lenço umedecido biodegradável. Essas características indicam que o lenço é fabricado com um material de qualidade, que possui uma estrutura uniforme e resistente.

A produção de fibras é importante porque confere resistência e durabilidade ao lenço, permitindo que ele não se desfaça facilmente durante o uso. A ausência de textura porosa implica em uma superfície lisa, que proporciona uma sensação agradável ao toque e também facilita a remoção de impurezas da pele.

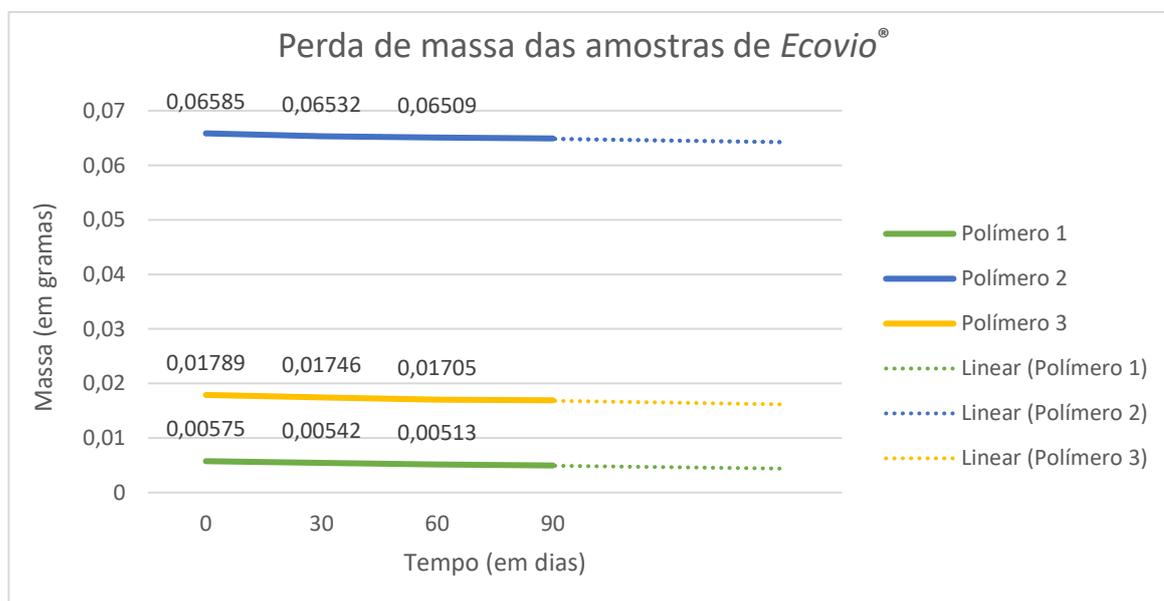
A homogeneidade na estrutura é relevante para garantir que o lenço umedecido seja eficaz em sua função, distribuindo uniformemente o líquido presente nele. Além disso, uma estrutura bem estruturada contribui para a resistência do lenço, evitando que ele se rasgue ou desintegre facilmente.

Essas informações obtidas por meio da Microscopia Eletrônica De Varredura fornecem evidências visuais da qualidade do lenço umedecido biodegradável. Isso pode ser um diferencial importante para os consumidores que buscam produtos sustentáveis e de alta qualidade.

Ensaio de biodegradação

O gráfico 1 apresenta os dados relativos a perda de massa das amostras de *Ecovio*® em decorrência do ensaio de biodegradação realizado.

Gráfico 1 – Resultados do ensaio de biodegradação em condições brandas



Após realizar o ensaio de biodegradação em condições brandas, analisando a perda de massa das amostras ao longo do tempo, foram obtidos resultados consistentes. O gráfico 1 revelou uma diminuição média de aproximadamente 0,00030 gramas a cada 30 dias.

Observou-se que, ao longo do ensaio, as amostras apresentaram uma tendência de perda de massa contínua, indicando a ocorrência de biodegradação. As linhas retas no gráfico representam as medições reais, enquanto as pontilhadas (chamadas lineares) são as estimativas para os próximos 30 dias. As lineares foram calculadas com base na taxa média de degradação observada.

Com base nos dados coletados e na análise do gráfico, pode-se concluir que as amostras são biodegradáveis mesmo em condições não ideais. Embora o ensaio tenha sido realizado em um ambiente doméstico, sem replicar completamente as condições ideais de biodegradação, foi possível constatar que houve uma degradação significativa do material testado, representado pela perda de massa ao longo do tempo.

É importante ressaltar que, se o ensaio fosse realizado em condições ideais, com parâmetros controlados e um ambiente otimizado para a atividade microbiana, provavelmente as amostras de *Ecovio*[®] seriam ainda mais biodegradadas. A taxa de degradação observada no presente ensaio sugere que, mesmo com as limitações das condições, o material apresenta propriedades biodegradáveis notáveis.

Esses resultados são encorajadores, pois indicam que o *Ecovio*[®] possui potencial para se decompor de maneira eficiente no ambiente. No entanto, estudos adicionais em condições ideais são necessários para uma compreensão mais aprofundada do comportamento de biodegradação desse material. Dessa forma, seria possível avaliar seu desempenho em ambientes controlados e comparar com outras amostras e materiais de referência.

Em suma, o ensaio de biodegradação em condições brandas mostrou que as amostras de *Ecovio*[®] são biodegradáveis, mesmo sem serem submetidas a condições ideais de degradação. Assim, esse biopolímero poderia ser substituto do TNT em lenços umedecidos, pois cumpre com o seu objetivo de se biodegradar no meio ambiente. Esses resultados destacam a importância de continuar pesquisando e desenvolvendo materiais ecologicamente sustentáveis, que possam reduzir o impacto ambiental e contribuir para a preservação do nosso planeta.

CONCLUSÕES:

De acordo com os resultados obtidos, o *Ecovio*[®] - feito de PLA (ácido polilático) e PBAT (polibutadieno adipato co-tereftalato) - pode ser considerado uma alternativa viável para substituir o TNT nos lenços umedecidos, levando em consideração aspectos ambientais.

O PLA é um biopolímero derivado de fontes renováveis, como o milho ou a cana-de-açúcar. Ele é conhecido por ser biodegradável e compostável, o que o torna uma opção mais sustentável do que os plásticos convencionais. O PBAT, por sua vez, é um copolímero que combina polibutadieno e adipato co-tereftalato, também considerado biodegradável e compostável, e a presença dele pode melhorar a degradação e as propriedades mecânicas do PLA.

Ao substituir o TNT, que é predominantemente composto por plásticos não biodegradáveis, pelo *Ecovio*[®], há uma redução potencial do impacto ambiental. Os biopolímeros derivados de fontes renováveis têm a vantagem de se degradarem mais facilmente no meio ambiente, comparados aos plásticos convencionais, que podem

levar décadas ou até mesmo séculos para se decompor. Além disso, o uso de biopolímeros pode contribuir para a diminuição da dependência de recursos não renováveis e ajudar a mitigar a acumulação de resíduos plásticos.

No entanto, é importante considerar alguns aspectos antes de considerar a substituição, como por exemplo:

- Desempenho: é importante garantir que os lenços umedecidos feitos com PLA e PBAT ofereçam as propriedades e o desempenho necessários para a função pretendida. Isso inclui a capacidade de reter a umidade, a resistência do material e sua capacidade de limpeza efetiva.
- Biodegradabilidade: tanto o PLA quanto o PBAT são considerados biodegradáveis em condições adequadas, como instalações de compostagem industrial. No entanto, a biodegradabilidade desses materiais pode variar dependendo da formulação específica e das condições de descarte. É importante avaliar se existe uma infraestrutura de compostagem disponível para permitir o descarte adequado dos lenços umedecidos e garantir sua degradação eficiente, já que em condições domésticas ou de descarte inadequado, a degradação pode ser mais lenta ou até mesmo não ocorrer completamente.
- Custo: os biopolímeros, como PLA e PBAT, podem ter um custo mais elevado em comparação com materiais convencionais, como o TNT, o que pode impactar o preço final do produto. É necessário considerar se o custo adicional associado ao uso desses biopolímeros é viável para o mercado de lenços umedecidos.
- Infraestrutura de compostagem adequada: é importante ressaltar que os lenços umedecidos feitos com PLA e PBAT não devem ser descartados no lixo comum ou na compostagem doméstica, pois esses sistemas geralmente não são capazes de proporcionar as condições ideais para a degradação eficiente desses materiais. Dessa forma, se torna essencial verificar a disponibilidade de instalações de compostagem industrial no país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. (2006). POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS – UMA SOLUÇÃO PARCIAL PARA DIMINUIR A QUANTIDADE DOS RESÍDUOS PLÁSTICOS. Fonte: Scielo – Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/qn/a/QXT9wMDfVQ9PrhbVsp8b3Pc/?format=pdf&lang=pt> > Acesso em: 15 jan. 2023.
- HU, Y; KOSAJAN, V; LIN, W; WEN, Z; ZHANG, T; ZHANG, Y. (2021). *LIFE-CYCLE ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT AND PLASTIC POLLUTION PREVENTION MEASURES OF WET WIPES*. Fonte: *ScienceDirect* – Disponível em: <
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344921004122>> Acesso em: 20 nov. 2022.
- VACCIOLI, K. (2015). ESTUDO DA BLEND A PBAT/PLA COM CARGAS. Fonte: Teses USP – Disponível em: <
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-12072016-101827/publico/KleberVaccili2015.pdf> > Acesso em: 12 abr. 2023.

FOMENTO

O trabalho foi apresentado a exposição de Trabalhos de Conclusão de Curso da ETEC, tendo ajuda do Laboratório de Caracterização Tecnológica da Universidade de São Paulo da Escola Politécnica para a sua realização.