JOURNAL OF EDUCATION, SCIENCE AND HEALTH – JESH
Revista de Educação, Ciência e Saúde
DOI: https://www.doi.org/10.52832/jesh.v2i3.141
Home page: www.jeshjournal.com.br
e-ISSN: 2763-6119

IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS DESCARTADOS INDEVIDAMENTE EM UM IGARAPÉ NA REGIÃO URBANA CENTRAL DE BENJAMIN CONSTANT/AM

IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF POLYMERIC MATERIALS IMPROPERLY DISCARDED IN AN IGARAPÉ IN THE CENTRAL URBAN AREA OF BENJAMIN CONSTANT/AM

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS DEPOSITADOS INAPROPIADAMENTE EN UN IGARAPÉ EN LA REGIÓN URBANA CENTRAL DE BENJAMIN CONSTANT/AM

Agmar José de Jesus Silva[1*]; Elissandra Ferreira Noronha[2]; Nathan Jhon Ramos Lira[3]; Simone Pinto de Castro[4]; Benara Modesto de Sousa[5]

[1]Doutor em Ciências (Polímeros) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Especialista em Educação Profissional e Tecnológica (IFAP), Especialista em Ensino de Química (Faculdade ÚNICA), Professor Efetivo da Seduc/Amazonas, Professor Substituto da Universidade Federal do Amazonas/Instituto de Natureza e Cultura (INC/UFAM), Benjamin Constant, Amazonas, Brasil; [2,3]Estudante do Ensino Médio Regular (Seduc/Amazonas), Bolsista de Iniciação Científica e Tecnológica Júnior da FAPEAM, Benjamin Constant, Amazonas, Brasil; [4]Bacharela e Licenciada em Ciências Agrárias e do Ambiente pela Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Natureza e Cultura (UFAM/INC), Professora Efetiva da Seduc/Amazonas, Benjamin Constant, Amazonas, Brasil; [5]Licenciada em Matemática pela Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Especialista em Educação Matemática pela Escola Superior Aberta do Brasil (ESAB), Técnica em Assuntos Educacionais da Universidade Federal do Amazonas (UFAM); Benjamin Constant, Amazonas, Brasil.
*Autor correspondente: agmarster@gmail.com

Recebido: 24/06/2022 | **Aprovado**: 28/07/2022 | **Publicado**: 09/08/2022

Resumo: O Igarapé Esperança, em Benjamin Constant (Amazonas, Brasil), vem sendo afetado por ações antrópicas impróprias. Devido a isso, populações de animais têm sido reduzidas em seu curso, assim como a qualidade de suas águas tem se deteriorado. As causas dessa degradação são várias, desde a utilização do igarapé como depósito de resíduos diversos até o descarte de efluentes domésticos. Nesse contexto, esse trabalho foi desenvolvido com foco nos materiais plásticos (poliméricos) presentes no resíduo sólido descartado no leito desse Igarapé. Para tanto, foi proposta uma combinação rápida e prática de métodos laboratoriais de baixo custo, com o objetivo de realizar a identificação e classificação desses materiais. Foi feita a observação da aparência dos polímeros encontrados, localização dos seus códigos de identificação conforme a norma ABNT/NBR 13.230/2018, análise do comportamento sob aquecimento e determinação da faixa de fusão das amostras. Utilizou-se o método de pesquisa experimental e as técnicas de pesquisa bibliográfica e de campo. A metodologia revelou que os polímeros de maior incidência nas amostras foram o PEAD (40,32%), o PET (29,03%) e o PP (12,9%). Percebe-se também a necessidade urgente de realização de um trabalho amplo de educação ambiental da população, associado à criação de um sistema estruturado de coleta seletiva de resíduos sólidos. Posteriormente, seria interessante implantar na cidade uma cooperativa de reciclagem e reprocessamento de materiais plásticos, com foco principal em PEAD, PP e PET. A cooperativa permitiria o aproveitamento do potencial econômico desse material, gerando renda e contribuindo para o restabelecimento do equilíbrio ecológico do Igarapé.

Palavras-chave: Polímeros. Igarapé Esperança. Sustentabilidade. Reciclagem.

Abstract: The Igarapé Esperança, in Benjamin Constant (Amazonas, Brazil), has been affected by inappropriate anthropic actions. Due this, animal populations have been reduced in your proximities, as well as the water quality has deteriorated. The reasons for this degradation are diverse, since the use of the Igarapé as a deposit of several residues until domestic effluents disposal. In this context, this work was developed with focus on plastics (polymeric materials) present in the solid waste discarded in the related Igarapé. For this end, a fast and practical combination of low-cost laboratory procedures was proposed, in order to realize these materials identification and classification. It was carried the polymers appearance observation, location of the identification codes according to ABNT/NBR 13.230/2018, analysis of the behavior under heating and determination of the melting temperature range. The experimental research method and the bibliographic and field research techniques were adopted. The methodology revealed that the polymers with the highest incidence were HDPE (40.32%), PET (29.03%) and PP (12.9%). The research also diagnosed an urgent demand of carry out an extensive work of environmental education of the local population, associated with the creation of a structured system of selective

solid waste collection. Subsequently, it would be interesting to create a recycling/reprocessing cooperative of plastic materials in this city, with primary focus on HDPE, PP and PET. A cooperative would allow the exploitation of the economic potential of these materials, generating income and contributing to the restoration of the ecological balance of the Igarapé.

Keywords: Polymers. Igarapé Esperança. Sustainability. Recycling.

Resumen: El Igarapé Esperança, en Benjamin Constant (Amazonas, Brasil), ha sido afectado por acciones humanas inapropiadas. Debido a esto, las poblaciones animales se han reducido en su curso, así como la calidad de sus aguas se ha deteriorado. Las razones de esta degradación son muchas, desde el uso del Igarapé como depósito de diversos residuos hasta la disposición de efluentes domésticos. En este contexto, este trabajo se desarrolló con un enfoque en los materiales plásticos (poliméricos) presentes en los residuos sólidos desechados en la cama de este Igarapé. Por lo tanto, se propuso una combinación rápida y práctica de métodos laboratoriales de bajo costo para identificar y clasificar estos materiales. Se observó la apariencia de los polímeros, la ubicación de sus códigos de identificación según la norma ABNT/NBR 13.230/2018, análisis del comportamiento al calentamiento y determinación del rango de fusión. Se adoptó el método de investigación experimental y las técnicas de investigación bibliográfica y de campo. La metodología reveló que los polímeros con mayor incidencia fueron HDPE (40,32%), PET (29,03%) y PP (12,9%). También se percibe la urgente necesidad de realización de un amplio trabajo de educación ambiental de la población, asociado a la creación de un sistema estructurado de recolección selectiva de residuos sólidos. Posteriormente, sería interesante implementar la creación de una cooperativa de reciclaje y reprocesamiento de materiales plásticos en esta ciudad, con foco principal en HDPE, PP y PET. La cooperativa permitiría aprovechar el potencial económico de estes materiales generando ingresos y contribuyendo a la restauración del equilibrio ecológico del Igarapé.

Palabras-clave: Polímeros. Igarapé Esperança. Sustentabilidad. Reciclaje.

1 INTRODUÇÃO

Os polímeros são compostos químicos de elevada massa molar ($M > 10^4$ g/mol), resultantes de reações químicas de polimerização (Mano & Mendes, 1999; Monteiro, Soares & Lucas, 2001; Canevarolo Jr, 2002). A polimerização é uma reação em que moléculas menores (chamadas de monômeros) se combinam quimicamente para formar moléculas longas, ramificadas ou não, e com a mesma composição centesimal (Mano & Mendes, 1999; Canevarolo Jr, 2002; Akcelrud, 2007).

Os principais tipos de polimerização ocorrem por meio de mecanismos de poliadição (reações em cadeia via radical livre, via iônica ou via coordenação) ou policondensação (sucessão de reações de condensação) (Mano & Mendes, 1999; Monteiro, Soares & Lucas, 2001). A polimerização pode ser reversível ou não, e também pode ser espontânea ou induzida (por exemplo, por ação de calor ou reagentes específicos) (Canevarolo Jr, 2002).

Existem diferentes classificações para os polímeros, as quais podem se dar quanto à estrutura química das macromoléculas, método de preparo e comportamento mecânico (Mano & Mendes, 1999; Canevarolo Jr, 2002). Por exemplo, quanto ao comportamento mecânico os polímeros podem ser subdivididos em termoplásticos, termorrígidos (ou termofixos) e elastômeros (ou borrachas) (Canevarolo Jr, 2002; De Jesus Silva, 2022).

Os termoplásticos são plásticos encontrados por qualquer pessoa que entra, por exemplo, num supermercado para realizar compras. Uma imensa quantidade de produtos que vão desde alimentos diversos até materiais de limpeza e medicamentos são acondicionados em embalagens plásticas (ou poliméricas) termoplásticas. Tecnicamente, o polímero termoplástico pode ser fundido e recristalizado diversas vezes mantendo suas propriedades originais pouco afetadas (Canevarolo Jr, 2002; Akcelrud, 2007). Logo, sua reciclagem é possível, característica muito desejável, principalmente no mercado de embalagens, pois favorece a

prática da sustentabilidade dentro do contexto de desenvolvimento industrial e tecnológico atual. Já os termorrígidos (ou termofixos) são polímeros rígidos e frágeis, sendo estáveis a variações de temperatura. Uma vez preparados, não se fundem novamente devido à presença de ligações cruzadas em sua estrutura (Canevarolo Jr, 2002; Akcelrud, 2007). Os Elastômeros (ou borrachas) são uma classe intermediária entre os termoplásticos e os termorrígidos, não são fusíveis e apresentam alta elasticidade sem ser tão rígidos quanto os termofixos (Canevarolo Jr, 2002; De Jesus Silva, 2022).

Todos esses tipos de plásticos são materiais importantes em nossa era, sendo encontrados frequentemente em objetos de uso diário. São diversas as aplicações dos materiais poliméricos em muitos setores da indústria em geral (Mano & Mendes, 1999; Canevarolo Jr, 2002; Silva, Berry & Costa, 2016; Silva, Nascimento & Da Costa, 2016; De Jesus Silva & Da Costa, 2019; De Jesus Silva *et al.*, 2020). Devido à sua grande importância para a ciência, os polímeros fazem parte dos componentes curriculares de escolas já no ensino médio e/ou técnico, e são estudados mais a fundo em muitos cursos superiores, tais como de ciências exatas e de engenharias. Contudo, o descarte incorreto desses materiais na natureza, principalmente em áreas urbanas, vem sendo feito de forma descontrolada e prejudicial em muitas regiões no Brasil e no mundo desde muitas décadas. Isso tem afetado tanto a sobrevivência das variadas formas de vida biológica presentes em áreas verdes, rios, ribeirões e igarapés quanto a qualidade das águas destes corpos d'água (Spinacé & De Paoli, 2005; Cole *et al.*, 2011; Andrady, 2011; Pessôa, 2018; Olivatto *et al.*, 2018; Araújo *et al.*, 2019; Monteiro, Sul & Costa, 2020).

A cidade de Benjamin Constant (BC) está situada no extremo oeste do Estado do Amazonas, estabelecendo-se à margem direita do rio Javari. Sua distância até a capital Manaus é de 1.121 km, em linha reta, e de 1.537 km pela rota fluvial (Higuchi *et al.*, 2011). O Município faz fronteira ao Norte com o município de Tabatinga, ao Sul com o Peru, Eirunepé e Ipixuna, a Leste com São Paulo de Olivença e Jutaí, e a Oeste com Atalaia do Norte. Conta com uma população de cerca de 43.935 habitantes, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

No que diz respeito aos sistemas de serviços urbanos, Benjamin Constant é um município que apresenta deficiências. Conforme Higuchi *et al.* (2011), a rede de fornecimento de água beneficia apenas 46% da população urbana, sendo a captação da água feita no rio Javari. Vale citar que essa rede vem recebendo melhorias nos últimos anos. Não há rede de tratamento de esgoto. O lixo coletado é despejado em um lixão nas proximidades da cidade. Também não há coleta seletiva e nem programas de reciclagem estruturados no município.

O Igarapé Esperança é o maior corpo d'água que atravessa a cidade de Benjamin Constant. Por muito tempo foi também bastante utilizado pelos cidadãos benjaminenses para uso recreativo, e até mesmo para consumo de água em situações de falta de água encanada (Quiroz, Freitas & Brandão, 2017).

Contudo, apesar de sua grande importância ao povo benjaminense, o Igarapé Esperança vem sendo cada vez mais afetado por ações antrópicas indevidas, principalmente em seu trecho de área urbana. Estudos recentes conduzidos por Araújo *et al.* (2019) e Quiroz, Freitas & Brandão (2017) relatam que a qualidade da água desse Igarapé, em todo o percurso em que ele corta a cidade, piorou nos últimos anos. As causas dessa degradação são diversas, desde a utilização do Igarapé como depósito de resíduos, alimentos orgânicos, lixo eletrônico, até o

descarte de efluentes domésticos e de outros materiais poluentes. Essas ações têm contribuído para uma aceleração no processo de poluição e degradação do Igarapé Esperança, afetando tanto a sua fauna e flora quanto a saúde e a qualidade de vida das populações locais.

De acordo com De Melo, Lima & Pantoja (2019), o impacto decorrente da ação antrópica pressupõe a necessidade de buscas por ações que explicitem as possíveis consequências negativas de ações não planejadas do homem. Isto porque resíduos sólidos, tais como materiais plásticos, quando descartados nos igarapés de forma inadequada podem causar uma série de impactos negativos e prejuízos à vida animal e das populações humanas locais. Dessa forma, torna-se necessário e indispensável a proposição e o desenvolvimento de projetos que auxiliem as autoridades e a população a se atualizarem sobre as condições de degradação do Igarapé em questão e sobre os rumos que devem ser tomados para o controle dessa problemática, visando ao restabelecimento do equilíbrio dos ecossistemas naturais do Igarapé.

Conforme relatado por Silva & Moita Neto (2016, p. 49), a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), a qual é regida Lei Federal nº 12.305/2010 (Brasil, 2010), "estabelece que somente os materiais que não tenham possibilidade de recuperação e tratamento (rejeitos) sejam encaminhados para aterros sanitários". Logo, os resíduos sólidos com alguma possibilidade de reaproveitamento e/ou reciclagem e, portanto, com potencial econômico (caso da maioria dos resíduos plásticos), "devem ter destino ambientalmente correto, socialmente justo e economicamente viável". Foi justamente neste viés que se estabeleceu a ideia central proposta nesse trabalho.

Nesse contexto, essa pesquisa teve como objetivo principal propor e executar uma combinação rápida, prática e simples de métodos laboratoriais de baixo custo visando realizar a identificação e a classificação de materiais poliméricos comumente utilizados no dia a dia das pessoas desse município, e que estão sendo descartados de maneira indevida no leito do Igarapé Esperança, especialmente no trecho que corta a região central de Benjamin Constant.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Principais agentes da pesquisa

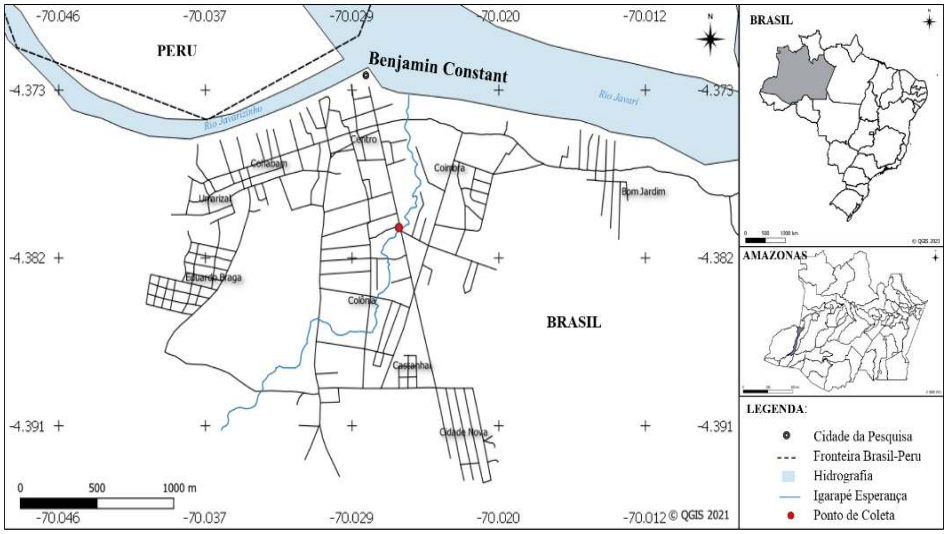
O trabalho foi desenvolvido na sua maior parte por um docente da disciplina de Química, juntamente com uma dupla de estudantes concluintes do Ensino Médio Regular da Escola Estadual Imaculada Conceição, em Benjamin Constant, Estado do Amazonas, Brasil. Os estudantes eram bolsistas de iniciação científica e tecnológica júnior da FAPEAM (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas), e trabalharam durante um período de 6 meses nesse projeto, sob supervisão do professor responsável (orientador da pesquisa) que gerenciou o desenvolvimento do projeto.

2.2 Localização geográfica do ponto de coleta

A pesquisa em questão foi desenvolvida utilizando-se amostras de materiais poliméricos coletadas em um ponto específico de grande acúmulo de resíduos sólidos no leito do Igarapé Esperança, em um local situado

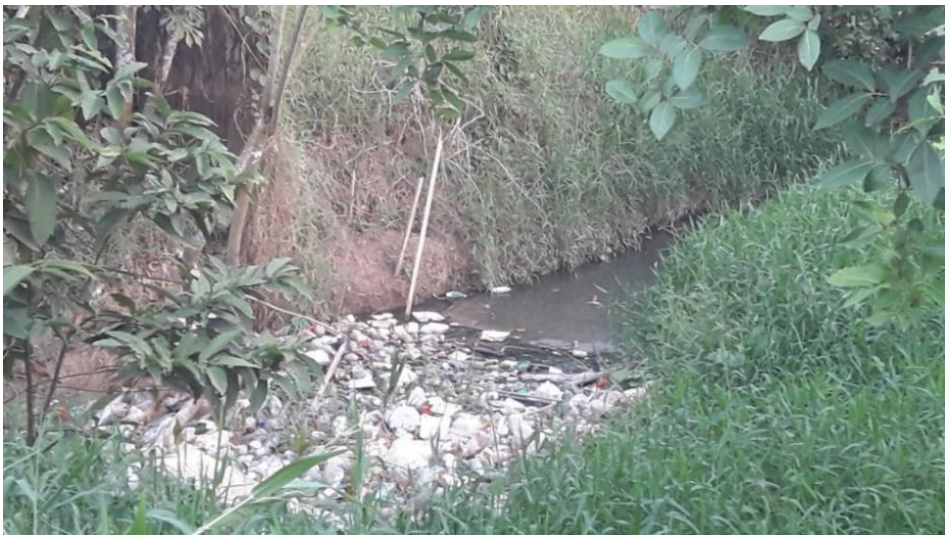
na zona urbana central da cidade de Benjamin Constant, Amazonas, Brasil (coordenadas 4°22'49.61"S, 70°1'33.64"O), conforme indicado pelo ponto em vermelho no mapa (Figura 1). De maneira complementar, a Figura 2 ilustra a situação real do Igarapé no ponto de coleta de amostras indicado.

Figura 1 – Localização geográfica do ponto de coleta (ponto em vermelho) no centro de Benjamin Constant.



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o software © QGIS (2022).

Figura 2 – Situação real do Igarapé Esperança no ponto de coleta.



Fonte: Autores (2022).

2.3 Coleta e preparação de amostras

A coleta das amostras de materiais plásticos descartados no Igarapé Esperança foi realizada na data de 18/09/2020, de maneira manual, aleatória e diretamente sob o leito superficial do Igarapé, na região (ponto de coleta) indicada na Figura 2. Após a coleta, as amostras foram submetidas a um processo de higienização (lavagem com mistura de água corrente e detergente) (Figuras 3a-b) para remoção de terra e sujeiras (gorduras e restos de produtos), visando facilitar o manuseio e a posterior identificação dos códigos ABNT (ABNT, 2018) das amostras. Em seguida, elas foram secas ao sol, depois separadas em objetos (ou peças) individuais e, por fim, etiquetadas, resultando em conjunto inicial de 52 amostras para posterior identificação e classificação.

Figura 3 – a) Amostras tal como coletadas. b) Amostras em processo de lavagem manual.



Fonte: Autores (2022).

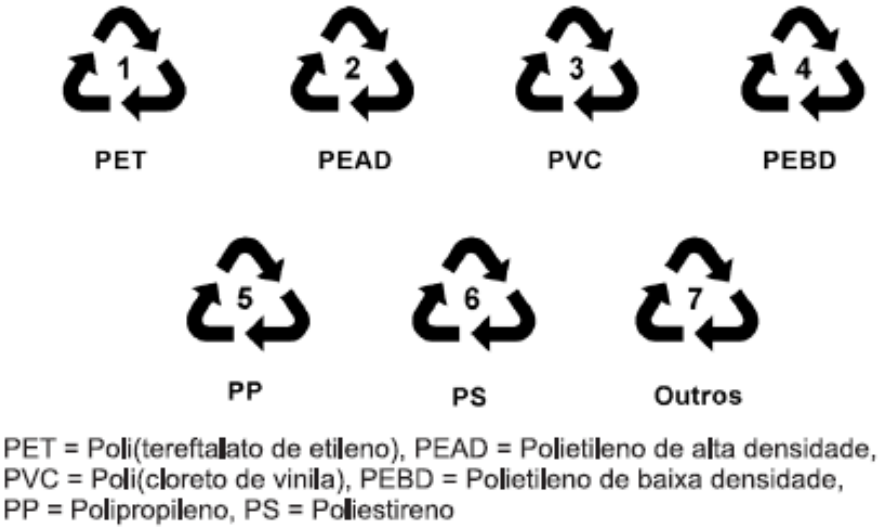
2.4 Caracterização experimental

A metodologia de caracterização do material consistiu na adaptação e aplicação de três procedimentos (ou etapas) experimentais descritas a seguir.

2.4.1 Etapa 1: Reconhecimento dos polímeros constituintes das amostras

Cada amostra, representada por uma embalagem coletada, foi identificada através da localização do seu código de identificação, conforme a norma ABNT/NBR 13.230/2008 (ABNT, 2018). A Figura 4 mostra a simbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas conforme essa norma. Observa-se que os polímeros são agrupados em 7 subgrupos, cada qual com uma numeração (código) inscrita no produto acabado. Essa numeração varia de 1 a 7, sendo os números escritos dentro de triângulos formados por três setas consecutivas. Tais números revelam o polímero constituinte de cada embalagem, e as setas consecutivas indicam que o material é reciclável pela indústria de plásticos.

Figura 4 – Simbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas conforme a ABNT/NBR 13.230/2018.



Fonte: Adaptado de Spinacé e De Paoli (2005).

Após a localização dos códigos de identificação de cada amostra, foram registrados também, para cada polímero identificado, dados relativos ao nome e sigla do respectivo polímero, aspectos físicos tais como volume (ou massa) da embalagem e descrição de sua forma. Além disso, foi anotado também quais produtos apresentaram o mesmo código ABNT. Posteriormente, foram realizadas pesquisas em livros e manuais técnicos da área de polímeros para confrontar os dados e verificar se as embalagens avaliadas poderiam de fato ter as composições encontradas.

2.4.2 Etapa 2: Ensaios de fusibilidade

Essa etapa foi realizada com a intenção de auxiliar na classificação dos polímeros presentes nas amostras em termoplásticos, termorrígidos ou elastoméricos. Para verificar a fusibilidade dos materiais, alguns fragmentos de amostra (mg) foram depositados no interior de tubos de ensaio e, posteriormente, conduzidos ao calor de uma chama de boca de fogão (Figura 5), sob movimentação circular suave. Quando o material amolecia, tornando-se um fluido viscoso e aderindo-se à parede do tubo, o ensaio era dito como positivo para material termoplástico. Caso o material permanecesse solto no fundo do tubo, na forma de um resíduo carbonizado com formato sólido e negro, o ensaio indicava infusibilidade da amostra, o que sugeria presença de material termorrígido. Essa metodologia foi adaptada de Mano & Mendes (2000).

Figura 5 – Ilustração do procedimento de determinação da fusibilidade das amostras poliméricas.



Fonte: Autores (2022).

Os resultados de fusibilidade das amostras foram registrados em uma tabela para análise. Em suma, consegue-se com estes ensaios simples determinar a natureza (termoplástica ou termorrígida) do polímero, o que auxilia muito na determinação de quais são eles, através de consultas e comparação com dados de manuais da literatura.

2.4.3 Etapa 3: Determinação da faixa de temperatura de fusão dos polímeros

Dado que o ponto de fusão de um composto é um meio qualitativo e rápido de caracterização e posterior identificação do material (Canevarolo Jr, 2002), este método foi usado para as amostras dos polímeros em questão. Para tal, amostras individuais dos polímeros coletados foram preparadas e submetidas a um aquecimento constante e contínuo até o material sofrer um amolecimento e uma diminuição gradativa de sua viscosidade. Um sistema básico e de baixo custo foi montado a partir de vidraria de laboratório da própria

Escola, tal como mostra a Figura 6. Este sistema era composto de um tubo de ensaio contendo a amostra (poucos miligramas), ao qual era amarrado um termômetro com o bulbo na mesma altura (observe na Figura 6). Devido ao fato de que alguns polímeros avaliados apresentaram temperaturas de fusão muito elevadas (acima de 200 ºC) (como foi o caso do PET e do PVC), foi necessário adquirir no mercado um termômetro de escala de temperatura mais elevada (360 ºC) (Incoterm, Grupo GRX® Ltda). O sistema montado era imerso em um líquido de aquecimento (glicerina PA), contida em um recipiente mais largo (béquer) mantido na vertical sobre uma grade metálica. O calor foi fornecido por chama de boca de fogão. Os dados obtidos de faixa de fusão foram registrados e confrontados com a literatura (Mano & Mendes, 1999; Mano & Mendes, 2000; Canevarolo Jr, 2002; Mark, 2009).

Figura 6 – Montagem experimental para determinação da faixa de temperatura de fusão das amostras poliméricas.



Fonte: Autores (2022).

2.4.4 Método de pesquisa e instrumento de coleta de dados

O método de pesquisa escolhido foi o método experimental, de caráter quali-quantitativo, comum das ciências naturais (Figueiredo & Souza, 2008). A técnica de pesquisa envolveu pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo de caráter tanto quantitativo-descritiva quanto exploratória, com uso do procedimento de amostragem como instrumento principal de coleta de dados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Reconhecimento e classificação conforme a ABNT/NBR 13.230/2018

Ao iniciar a classificação dos polímeros pela identificação do código ABNT, a primeira observação importante foi que algumas embalagens possuíam não apenas um tipo de polímero para acondicionar seus respectivos produtos, mas uma combinação de dois ou mais polímeros, por exemplo, um polímero para o corpo

principal da embalagem, e outros para a tampa e rótulo. Isso ocorreu principalmente naquelas embalagens onde o corpo principal era envolto por um rótulo na forma de filme fino aderido (filme colado com adesivo contendo informações do produto). Ao todo, das 52 amostras (embalagens poliméricas) coletadas no Igarapé Esperança, 8 apresentaram dois componentes (amostras 03, 18, 24, 28, 32, 37, 42 e 52), e uma apresentou 3 componentes (amostra 49), tal como pode ser verificado nos dados apresentados na Tabela 1. Essa constatação fez que com que o número total de amostras contabilizadas para o cálculo dos percentuais de cada tipo de polímero presente no universo total de amostras trabalhadas fosse elevado de 52 para 62 amostras.

Tabela 1 – Lista de embalagens encontradas constituídas por mais de um tipo de material polimérico.

Amostras	Polímeros constituintes
3	PET e PP
18	PET e PEBD
24	PEAD e outros
28	PET e PEBD
32	PET e PEBD
37	PET e PEBD
42	PP e PEAD
49	PEAD, PP e outros
52	PP e PEAD

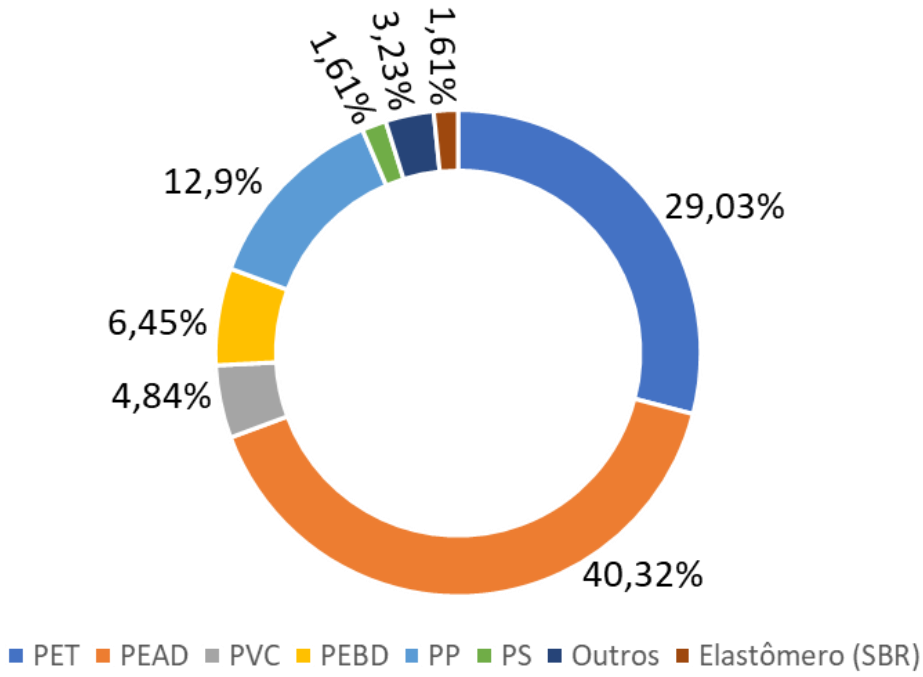
Fonte: Autores (2022).

O gráfico da Figura 7 apresenta o percentual de cada de tipo de polímero presente no universo de amostras coletadas. Observa-se que três tipos de polímeros entre os presentes se destacaram em termos de valores percentuais de incidência, isto é, o PEAD com 40,32%, o PET com 29,03% e o PP com 12,9%.

A presença maciça de PEAD (40,32%) nas amostras é justificada, em parte, pela grande disponibilidade desse material no mercado de poliolefinas, conforme reportado por Coutinho, Mello & Santa Maria (2003), Pettarin e*t al.* (2010) e Costa *et al.* (2020). De acordo com Reto (2000, p. 22) *apud* Coutinho, Mello & Santa Maria (2003, p. 2) "[...] as poliolefinas representam aproximadamente 60% da demanda mundial de termoplásticos, onde os polietilenos se encaixam no patamar dos 40%. No Brasil, as poliolefinas representam cerca de 65%, dos quais 43% correspondem aos polietilenos".

Associado a esse fato, soma-se a boa processabilidade do PEAD por diferentes técnicas (por exemplo, moldagem por sopro, extrusão e injeção) e suas excelentes propriedades mecânicas advindas principalmente do alinhamento longitudinal de suas cadeias poliméricas, uma vez que estas possuem baixo grau de ramificações (Coutinho, Mello & Santa Maria, 2003). Dessa forma, elas são alinhadas de maneira linear e próximas entre si, resultando em um maior nível de empacotamento de cadeias, conforme relatado por Coutinho, Mello & Santa Maria (2003) e Costa *et al.* (2020). Esse empacotamento mais efetivo favorece a elevação do grau de cristalinidade desse material devido ao aumento nas interações intermoleculares de cadeias e, consequentemente, isso confere propriedades mecânicas relevantes para o PEAD, tais como módulo elástico e tensão no limite de escoamento (Coutinho, Mello & Santa Maria, 2003), as quais são de interesse para a indústria de processamento e produção de objetos plásticos.

Figura 7 – Participação percentual dos diferentes tipos de polímeros presentes nas amostras poliméricas coletadas no leito do Igarapé Esperança.



Fonte: Autores (2022).

Essa boa processabilidade do PEAD, associada à sua versatilidade do ponto de vista de propriedades físico-mecânicas, torna esse material adequado para uso em diferentes segmentos da indústria de transformação de plásticos, e que exigem embalagens mais resistentes química e mecanicamente.

Lorandi (2016) relata uma série de produtos que podem ser fabricados de PEAD utilizando as técnicas de injeção (baldes, bandejas, brinquedos, tampas para garrafas e potes, engradados), rotomoldagem/extrusão-sopro (bombonas, tanques, tambores e garrafas) e extrusão (isolamento de fios telefônicos, sacos e sacolas, revestimento de tubulações metálicas, tubos para redes de saneamento e de distribuição de gás, redes para embalagem de frutas, sacos para lixo e sacolas de supermercados).

O PET tem como principais propriedades cristalinidade variável, brilho, alta resistência mecânica, química e térmica, além de baixa permeabilidade a gases (Mano & Mendes, 1999). Ainda, conforme esses autores, essas boas propriedades, do ponto de vista industrial, conferem ao PET um extenso rol de aplicações, incluindo artefatos e componentes nas áreas de automobilística, eletrônica, embalagens de alimentos, cosméticos, produtos farmacêuticos e, principalmente, frascos para bebidas gaseificadas, tais como refrigerantes e água mineral.

Com relação ao PP, Mano & Mendes (1999) relatam que suas propriedades principais são alta cristalinidade, baixa densidade, baixo custo, boa moldabilidade, resistência mecânica moderada e boa resistência química. Tais propriedades habilitam o PP para aplicações diversas, tais como na indústria automobilística (para-choques de carros), carcaças de eletrodomésticos, recipientes de uso geral, brinquedos, sacaria, carpetes, tubos de canetas, material hospitalar, entre outros (De Jesus Silva, 2020a; De Jesus Silva, 2020b).

Como pode ser visto na Tabela 2, a seguir, muitas embalagens de produtos de PET, PEAD e PP acima mencionadas também foram identificadas nas amostras de resíduos plásticos descartados no leito do Igarapé

Esperança. Todas essas embalagens foram, em algum momento, utilizadas para armazenamento de algum produto industrializado durante sua vida útil. Contudo, após o uso, o seu descarte no leito do Igarapé Esperança foi completamente inapropriado. A Tabela 2 relaciona ainda, na segunda coluna, as amostras que armazenavam o mesmo tipo de produto, e na terceira, os polímeros constituintes de tais amostras. Pela listagem, observa-se que o PEAD foi utilizado em embalagens de *shampoo,* gel fixador, álcool em gel, talco antisséptico, detergente, óleo para motor de moto, amaciante de roupas, água sanitária, creme de pentear, iogurte, corante líquido, álcool etílico, maionese e desodorante creme.

O PET foi encontrado principalmente em embalagens de refrigerantes (de diversos volumes). No entanto, houve ocorrência de PET também na constituição de embalagens de *shampoo*, desinfetante, detergente, amaciante de roupas, carote, água sanitária, água mineral e cera líquida.

Tabela 2 – Descrição dos tipos de embalagens poliméricas representativas de cada amostra coletada e seus respectivos polímeros constituintes.

Descrição embalagem polimérica	Amostras	Polímeros constituintes
Garrafas de refrigerante de 2 L ou menos	01, 08, 26, 36	PET
Frascos de shampoo (200 a 300 mL)	02, 03, 12, 24, 49	PET, PP e PEAD
Frascos de gel fixador (300 g)	04, 20, 46	PVC e PEAD
Frascos de álcool em gel (500 g)	05, 29, 44	PEAD
Embalagens de talco antisséptico (140 g)	06, 35	PEAD
Frascos de desinfetante (1 L)	07, 18	PET, PEBD (rótulo)
Frascos de detergente (500 mL)	09, 25	PET e PEAD
Frascos de óleo para motores de moto (1 L)	10, 43	PEAD
Embalagens de amaciante de roupas (2 L)	11, 28	PEAD, PET, PEBD (rótulo)
Forro de PVC	13	PVC
Carote (500 mL)	1	PET
Frascos de água sanitária (1 L)	15, 34	PET, PEAD
Frasco de creme de pentear (100 g)	16	PEAD
Garrafas de água mineral (250 mL a 1,7 L)	17, 23, 27	PET
Frascos de iogurte (150 a 185 g)	19, 40	PEAD
Embalagem de goiabada (300 g)	21	PP
Embalagem de tempero completo	22	PP
Corante líquido xadrez (50 mL)	31	PEAD
Garrafas de cera líquida (750 mL)	32, 37	PET e PEBD (rótulo)
Frasco de álcool etílico (500 mL)	33	PEAD
Embalagem de isopor para comida	38	PS
Bola dente de leite	39	PVC
Embalagem de maionese (500 g)	41	PEAD
Embalagem de desodorante creme (55 g)	42	PP e PEAD
Pedaço de sandália	45	Elastômero (SBR)
Potes de margarina (250 g)	47, 50	PP
Frasco de óleo corporal (140 g)	48	PET
Frasco de água oxigenada (90 mL)	51	PEAD
Frasco de sabonete íntimo (40 mL)	52	PP e PEAD

Fonte: Autores (2022).

Conforme Coutinho, Mello & Santa Maria (2003), o PEBD tem uma combinação única de propriedades tais como alta flexibilidade, baixa densidade, resistência ao impacto e boa processabilidade. Essas propriedades o tornam apto para aplicações na forma de filmes em embalagens industriais e agrícolas, filmes destinados a embalagens de alimentos líquidos e sólidos, filmes laminados e plastificados para alimentos, revestimentos de fios e cabos, fabricação de tubos e mangueiras, entre outras. Por esses motivos, observa-se na Tabela 2, que mais de uma vez o PEBD foi encontrado em amostras como constituinte dos rótulos das respectivas embalagens, como foi o caso das amostras 18, 28 e 37.

O fato é que todo esse resíduo, por estar sendo destinado de forma inadequada, além de deixar de gerar renda devido ao seu potencial econômico, impacta significativa e negativamente o equilíbrio biológico natural dos ecossistemas aquáticos do Igarapé Esperança. Além disso, em uma janela de tempo e escala geográfica maiores, também irá provocar danos às espécies aquáticas presentes em sua foz (Rio Javari), que é afluente do Rio Amazonas (chamado de Rio Solimões na região de Benjamin Constant) e que, por fim, tem sua foz no Oceano Atlântico. Ou seja, toda essa cadeia de rios, ao receber detritos plásticos não apenas do Igarapé Esperança, mas de uma imensa quantidade de outros afluentes, acaba depositando quantidades alarmantes e diárias de materiais plásticos nos rios maiores, sendo assim conduzidos até aos oceanos e suas zonas costeiras, gerando grande impacto ambiental aos mesmos em escala mundial.

Estudos recentes alertam sobre o perigo de, num futuro próximo (até ~ 2050) (Araújo Neto, 2022), poderá ocorrer a formação de um "mar de plástico" na Terra, o qual desde já vem afetando gravemente os ecossistemas aquáticos globais, em especial a vida marinha (Andrady, 2011; Olivatto *et al.*, 2018; Monteiro, Sul & Costa, 2020), que é o destino final de todos os plásticos e microplásticos que têm seu processo de acúmulo e poluição iniciados em rios, lagos e igarapés existentes em regiões de área urbana, como é o caso do Igarapé Esperança em BC.

O problema do microplástico, em específico, tem tomado a atenção de muitos pesquisadores, dado o seu elevado impacto na saúde ambiental e humana globais. Um microplástico pode ser definido como qualquer fragmento de material polimérico com comprimento menor que 5 mm (Monteiro, Sul & Costa, 2020; Olivatto *et al.*, 2018). Atualmente são considerados como um dos principais poluentes dos oceanos. Ao chegar à natureza, produtos como garrafas, embalagens e brinquedos que não foram descartados corretamente, passam por um processo de fragmentação (redução sucessiva de tamanho) resultante da ação combinada de diversos fatores ambientais que incluem radiação ultravioleta, presença de oxigênio, mudanças de temperatura, umidade, ação mecânica das ondas e contato com contaminantes e microrganismos, tal como reportado por Olivatto *et al.* (2018), originando assim os chamados microplásticos. Contudo, vale ressaltar que ocorre fragmentação não somente devido a fatores ambientais, pois ela é dependente também do tipo de polímero e de sua aditivação no processamento inicial (Olivatto *et al.*, 2018).

Araújo Neto (2022, p. 1) relata que:

> [...] O mar de plástico pode causar inúmeros prejuízos para a vida marinha. Os animais frequentemente se sufocam com o lixo flutuante e muitos ingerem esses resíduos, confundindo-os com alimentos. Ao ingerir o plástico, os animais sofrem falsa saciedade e, com o estômago

> entulhado de plástico, ficam incapazes de ingerir partículas de alimentos, morrendo de desnutrição. Além disso, o plástico entra na cadeia alimentar e estima-se que quem come frutos do mar regularmente ingere cerca de 11 mil pedaços de microplástico por ano.

Outro aspecto importante que tem sido estudado é a capacidade de absorção, por esses microplásticos, de contaminantes químicos, tais como compostos de petróleo, produtos farmacêuticos ou pesticidas presentes na água (Cole *et al.*, 2011; Andrady, 2011; Olivatto *et al.*, 2018), que uma vez ingeridos podem causar danos ainda nem mesmo totalmente elucidados aos organismos de seres humanos e outros animais.

Portanto, observa-se que o problema da poluição do Igarapé Esperança em Benjamin Constant se soma a um problema ainda maior, já recorrente em muitas partes do mundo, contribuindo assim para propagação do processo degradativo de rios e oceanos, inclusive em plena região de floresta amazônica. Evidentemente, tal fato é algo muito prejudicial ao meio ambiente global e inaceitável pela sociedade, uma vez que regiões como a Amazônica deveriam ser exemplos em conservação e preservação dos seus ecossistemas naturais para o uso de gerações vindouras. No entanto, o que se tem observado é que tais ecossistemas, ao contrário do que deveria, vêm sendo seriamente afetados por ações antrópicas inadequadas das populações locais, principalmente aquelas de áreas urbanas, como é o caso presente de Benjamin Constant. A isso soma-se a ausência de políticas públicas específicas para esse setor e a carência de programas de informação e sensibilização da população local.

3.2 Ensaios de fusibilidade dos polímeros

A Tabela 3 apresenta os resultados do teste de fusibilidade para oito amostras de materiais poliméricos retiradas do leito do Igarapé Esperança. Estas amostras foram representantes dos diferentes tipos de polímeros encontrados, isto é, elas contêm em sua composição os polímeros de códigos ABNT de 1 a 7.

Tabela 3 – Resultados dos testes de fusibilidade de amostras representativas dos diferentes tipos de polímeros encontrados.

Referência	Código ABNT	Sigla	Funde	Não funde
19	2	PEAD	X	
01	1	PET	X	
20	3	PVC		Carbonização
22	5	PP	X	
38	6	PS	X	
24	7	Outros	X	
39	3	PVC		Carbonização
28	4 (rótulo)	PEBD	X	

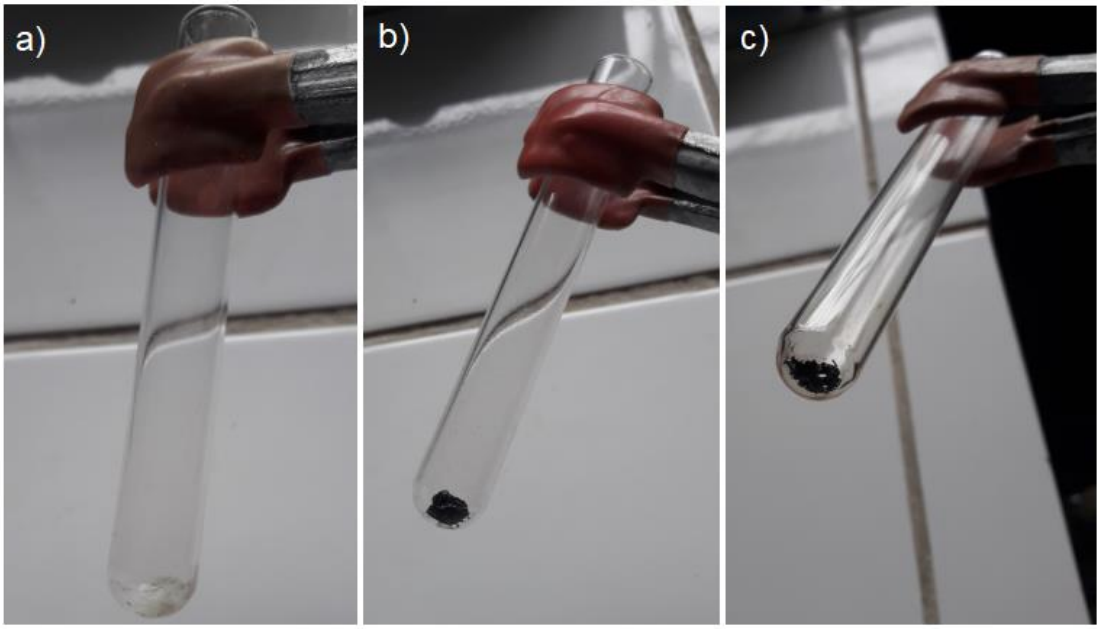
Fonte: Autores (2022).

No caso do PVC, observa-se que duas amostras diferentes contendo o mesmo tipo de polímero foram testadas, o que foi necessário devido ao surgimento de dúvidas experimentais em relação ao seu comportamento durante o teste de fusibilidade, conforme debatido a seguir. Observa-se, inicialmente, que a maioria dos polímeros fundiu após o contato com o calor do fogo da chama do fogão, confirmando sua classificação como

polímeros termoplásticos. Esse tipo de material, ao passar pela fusão de seus arranjos cristalinos de cadeias, tornam-se um fluido viscoso, e se aderem posteriormente às paredes do tubo de ensaio devido ao gradiente de temperatura existente, tal como pode ser visto na Figura 8a.

As exceções ao comportamento anterior ocorreram com as amostras de número 20 (embalagem de gel fixador) e 39 (bola dente de leite), que não fundiram, e sim converteram-se em um material carbonizado de coloração negra, como mostram as Figuras 8b e 8c, respectivamente. Conforme discutido por Del Carpio (2009), o PVC é termicamente instável, em especial sob temperaturas elevadas, como é o caso da chama da boca de fogão (~ 400 °C), e essa instabilidade térmica é acelerada pela presença de oxigênio e umidade. Nessa faixa de temperatura o PVC não passou por um processo de fusão, mas sim por uma carbonização de suas cadeias. A carbonização do PVC em temperaturas próximas a 450 °C é reportada também por Del Carpio (2009). Rodolfo Jr & Mei (2007) relatam que essa sensibilidade à degradação do PVC tem relação com a existência de defeitos de polimerização durante a formação de suas cadeias, os quais levam à incidência de átomos de cloro lábeis em trechos de estruturas defeituosas que, em geral, não são estáveis. Esses átomos se rompem, levando a formação de vapor de cloreto de hidrogênio (HCl), que no caso presente também foi percebido pelo forte odor caraterístico gerado.

Figura 8 – Comparação de imagens de uma amostra de PEAD totalmente fundida e aderida à parede do tubo de ensaio (a), e de duas amostras diferentes de PVC totalmente carbonizadas (b e c).



Fonte: Autores (2022).

Para contornar este problema e evitar a carbonização do PVC, com intuito de obter a fusão do material, foi preciso realizar um aquecimento bastante controlado, conforme discutido em maiores detalhes no subitem 3.3, a seguir. Portanto, foi constatado que o teste da fusibilidade, nas condições realizadas, não permitiu a confirmação da natureza termoplástica do PVC.

3.3 Avaliação da faixa de temperatura de fusão dos polímeros

A Tabela 4 apresenta os dados de faixa de fusão para as mesmas oito amostras mencionadas na Tabela 3. Como pode ser visto, apenas as amostras constituídas pelos polímeros PVC e PS apresentaram faixas de temperatura de fusão destoantes em relação aos valores esperados da literatura.

No caso do PVC, é importante ressaltar, primeiramente, a grande diferença existente no formato, textura e flexibilidade das amostras de número 20 (embalagem de gel fixador) e 39 (bola dente de leite), o que se deve à ampla versatilidade do PVC em termos de possibilidade de incorporação de aditivos em seu processamento. Ou seja, o PVC pode ter suas características alteradas dentro de um amplo espectro de propriedades em função da aplicação final, variando desde o rígido ao extremamente flexível, conforme relatado por Rodolfo Jr & Mei (2007).

Tabela 4. Resultados de determinação da faixa de temperatura de fusão de amostras representativas dos diferentes tipos de polímeros encontrados.

Referência	Código ABNT	Sigla	Faixa de fusão observada	Faixa de fusão da literatura (Mark, 2009)
19	2	PEAD	135 - 143 °C	135 °C
1	1	PET	230 - 240 °C	250 - 270 °C
20	3	PVC	210 - 220 °C	273 °C
22	5	PP	163 - 180 °C	165 - 175 °C
38	6	PS	110 - 130 °C	220 - 240 °C (escoamento)
24	7	Outros	145 - 164 °C	Variada
39	3	PVC	200 - 225 °C	273 °C
28	4 (rótulo)	PEBD	130 - 135 °C	125 °C

Fonte: Autores (2022).

Contudo, mesmo com essa diferença física, observou-se que ambas as amostras contendo PVC (20 e 39) apresentaram faixas de valores similares e inferiores à temperatura de fusão da literatura para o PVC, de 273 °C (Mano & Mendes, 1999). Isto é, para o PVC da amostra 20, a faixa de fusão observada foi de 210 – 220 °C, e na amostra 39 foi de 200 – 225 °C. Porém, há uma explicação científica associada à degradação térmica do PVC que justifica tal resultado. As cadeias poliméricas do PVC, assim como da maioria dos polímeros, não são perfeitas após a síntese química, isto é, elas são geradas com alguns defeitos estruturais advindos do próprio processo de polimerização (Rodolfo Jr & Mei, 2007). Em alguns casos, como no do PVC, isso pode ser impactante. Para esse polímero, caso a molécula fosse perfeita, ele seria estável termicamente até temperaturas em torno de 300 ºC (Rodolfo Jr & Mei, 2007). Assim, os defeitos estruturais existentes tornam sua cadeia muito sensível ao efeito da elevação brusca de temperatura, pois os átomos de cloro nessas regiões de defeitos não são estáveis, sendo esse fato responsável por reduzir a temperatura de degradação térmica do PVC para valores mais baixos, como verificado.

Vale frisar ainda que, conforme discutido por Rodolfo Jr & Mei (2007), uma vez iniciado o processo de degradação térmica do PVC, que ocorre por meio de uma série de reações químicas em cadeia, estas são catalisadas pelo HCl formado durante o próprio processo, acelerando o processo degradativo até à carbonização

total da cadeia. Por esse motivo foi essencial fazer o aquecimento paulatino do PVC em banho de glicerina, pois, do contrário, o polímero iria se degradar total e rapidamente, levando à formação de resíduo carbonoso, tal como verificado no teste da fusibilidade realizando anteriormente.

No caso de poliestireno, esse material pode se apresentar de três formas principais, isto é, o PS cristal, o PS de alto impacto (HIPS, do termo em inglês *high impact polystyrene*) e PS expandido (EPS, do termo *expanded polystyrene*). O isopor, como é de conhecimento da maioria das pessoas, corresponde à terceira forma mencionada. A temperatura de escoamento próxima a 240 °C, citada na Tabela 4 (Mark, 2009), está associada às duas formas iniciais (PS cristal e HIPS). O PS tem temperatura de transição vítrea de 100 °C, e o HIPS, de 90 °C, conforme Canevarolo Jr (2002) e Wang *et al.* (2006), respectivamente, e temperatura de escoamento de cerca 240 °C (Mark, 2009).

No caso do PS expandido (ou EPS), há a presença de conteúdo gasoso (agente de expansão) dentro das pérolas de PS, de forma que quando processado e expandido, suas cadeias poliméricas ficam misturadas com esse conteúdo gasoso, que se evapora, expandido o polímero. Com a aplicação de temperaturas mais elevadas (acima de 100 °C) no teste de fusão do material, a estrutura do mesmo funde-se mais facilmente, permitindo a saída do conteúdo gasoso, e resultando em perda rápida de espessura e volume do EPS. Assim, na faixa de 110 a 130 °C, a amostra de EPS da embalagem de alimento estava completamente fundida (fluidificada), indicado que esse material não deve ser utilizado em temperaturas altas (acima de 90 °C).

3.4 Proposta de intervenção ambiental e gestão sustentável

Os resultados obtidos nessa pesquisa apontam para uma forte e urgente necessidade de interferência das autoridades locais no sentido de promover a saúde ambiental e a manutenção dos equilíbrios ecológico e biológico do Igarapé Esperança, em Benjamin Constant-AM.

Essa interferência deve ser iniciada com um amplo e contínuo trabalho de educação ambiental da população como um todo, paralelamente à implantação, na cidade, de um sistema estruturado de coleta seletiva de resíduos sólidos, evitando assim que o material plástico de potencial econômico seja direcionado para o lixão, ou ainda pior, abandonado aleatoriamente em vias públicas da cidade, de onde geralmente é transportado pela chuva (agente natural) até ao leito de mananciais locais, como é o caso de Igarapé Esperança. O resultado desse processo é a poluição e a degradação ambiental do Igarapé, tal como verificado.

Mancini *et al.* (2008, p. 289) discorrem sobre a importância da coleta seletiva no contexto de reciclagem de materiais plásticos. Conforme esses autores "[...] sabidamente auxilia a reciclagem por facilitar a captação de matéria-prima em quantidade e qualidade, e que pode ser realizada pela população, indústrias, catadores, sucateiros, cooperativas, etc.". Além disso, a coleta seletiva evita a contaminação do material plástico por contato com outras substâncias ou produtos descartados. Por exemplo, o lixo doméstico recolhido na coleta comum geralmente contém restos de comida e gordura que podem impregnar a superfície dos resíduos plásticos presentes, dificultando seu processo de separação e lavagem para posterior processamento no maquinário de transformação. Mancini *et al.* (2008, p. 289) relatam ainda que essas impurezas, além de gerar grande quantidade

de efluente de lavagem, e que precisa ser tratado antes de ser despejado, "podem ser transferidas aos equipamentos de processamento, dificultando ou mesmo impedindo a obtenção de produtos de qualidade".

Chagas *et al.* (2020, p. 300) também relaram sobre o papel da coleta seletiva "[...] uma das principais estratégias apontadas para a redução da quantidade de resíduos dispostos nos aterros sanitários e lixões é a criação de sistemas de coleta seletiva".

No caso de Benjamin Constant, uma vez realizadas essas etapas prévias de educação ambiental e implantação de um sistema eficiente de coleta seletiva, o munícipio poderá caminhar para etapas posteriores de gestão ambiental e sustentabilidade. Nesse contexto, recomenda-se que as autoridades políticas locais, em parceria com a iniciativa privada, proponham a implantação de uma cooperativa (unidade industrial de pequeno ou médio porte) de reciclagem e reprocessamento de materiais plásticos produzidos no município. Essa unidade poderá ter foco num único ou em vários tipos de materiais plásticos. Contudo, para o caso em questão, os resultados obtidos indicam a necessidade de se focar na reciclagem de PET, PEAD e PP, que foram os materiais identificados em maior quantidade no resíduo sólido avaliado.

Com relação aos demais tipos de polímeros, estes também podem ser reciclados no município, porém, pelo fato de terem sido encontrados em menor percentual (baixa incidência), o processo pode não ser lucrativo como esperado. Nesse caso, uma alternativa interessante seria acumular quantidades maiores desse material em depósitos/galpões, na forma aglutinada, e depois comercializar essa matéria-prima com unidades de processamento de outros municípios que tenham interesse na mesma.

Além disso, parte desses polímeros de menor incidência também pode ser destinada ao reuso, isto é, dar uma nova função ao material, criando um novo artefato que não necessite passar pelo processo de fusão do polímero. São exemplos de reuso utilidades domésticas, peças de artesanato, vasos para plantas, entre outros.

Nesse sentido, observou-se que a atividade prática de realização da correta identificação e separação desses materiais teve um papel importante tanto na aprendizagem de conteúdos de química associados ao assunto de polímeros, por parte dos estudantes participantes do projeto (função pedagógica), quanto na criação de soluções socioambientais relacionadas ao encaminhamento dos polímeros identificados para um possível futuro processo de reciclagem (visando produzir novos materiais), ou reuso (nova finalidade ao material). De Jesus Silva & Da Silva Egas (2022) e De Jesus Silva *et al.* (2021) relatam sobre a importância da prática de atividades experimentais contextualizadas no âmbito escolar (como ocorrido no caso em questão) na fixação de conteúdos da área de química, principalmente no contexto das demandas estabelecidas no Referencial Curricular Amazonense, no que se refere à implementação do Novo Ensino Médio no Estado (Amazonas, 2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia aplicada permitiu a identificação e a classificação rápida e satisfatória dos resíduos plásticos descartados no Igarapé Esperança de Benjamin Constant (AM). Foi verificada uma incidência predominante dos polímeros PEAD (40,32%), PET (29,03%) e PP com (12,9%), todos materiais termoplásticos, isto é, passíveis de reciclagem por reprocessamento.

Ademais, o diagnóstico ambiental realizado indicou ser urgente a necessidade de tomada de iniciativas tanto socioeducativas quanto ambientais, no afã de mitigar os danos já causados e/ou em curso no Igarapé em questão.

Os resultados evidenciaram também ser imprescindível a esse município, o desenvolvimento de um programa municipal de sensibilização ambiental e preservação do equilíbrio biológico do Igarapé Esperança e de suas espécies nativas, buscando assim preservá-lo para as gerações futuras. Nesse sentido, foi proposto também a implantação de um sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos na cidade, além da criação de uma cooperativa de reciclagem e reprocessamento de materiais plásticos, com foco inicial na transformação de PET, PEAD e PP.

Tais iniciativas, se executadas corretamente, poderão beneficiar não apenas o equilíbrio ambiental e ecológico do Igarapé Esperança, mas toda uma cadeia de preservação ambiental que chega até ao limite dos grandes oceanos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo suporte financeiro ao projeto, no âmbito Programa Ciência na Escola (PCE), e também à Sedecti, Seduc/AM, Semed/AM e ao Governo do Amazonas pela infraestrutura necessária e pela oportunidade.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

Contribuições dos autores

Agmar José de Jesus Silva: Planejamento da pesquisa e execução (coleta e análise de dados) junto aos bolsistas de iniciação científica e tecnológica Jr, além da escrita do artigo e revisão final.

Elissandra Ferreira Noronha, Nathan Jhon Ramos Lira: Planejamento da pesquisa junto ao orientador e execução da mesma (coleta e análise de dados).

Simone Pinto de Castro: Suporte na análise de dados, escrita do artigo e revisão.

Benara Modesto de Sousa: Suporte na análise de dados, escrita do artigo e revisão.

REFERÊNCIAS

ABNT. (2018). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.230: Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - identificação e simbologia.

Akcelrud, L. (2007). *Fundamentos da ciência dos polímeros*. (1. ed.). Barueri: Editora Manole.

Amazonas. (2020). Referencial Curricular Amazonense - Ensino Médio (RCA-EM). Manaus: Secretaria de Estado de Educação do Amazonas.
http://www.cee.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/08/RCA-Ensino-Medio.pdf

Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8), 1596-1605. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030

Araújo Neto, J. O. (2022). Entenda como o mar de plástico afeta a vida marinha. Blog Ecycle, [*s.l.*], [*s.d.*]. https://www.ecycle.com.br/2092-mar-de-plastico.html

Araújo, T. L. M.; Alves, C. N.; Abreu, B. R.; Melo, S. C.; Ponte, F. K. S.; Castro, S. P.; & Alves, H. P. (2019). Microbiological analysis of surface waters in the "Igarapé Esperança" water resources in Benjamin Constant-AM**.** *International Journal of Advanced Engineering Research and Science,* 6(7), 640–645. https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.6772

Brasil. (2010). Lei 12.305/2010. *Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF.

Canevarolo Jr, S. V. (2002). *Ciência dos polímeros. Um texto básico para engenheiros*. (1. ed.). São Paulo: Editora Artliber.

Chagas, A. L. B., Alves, E. R., Coelho, F. M. A., Rabelo, M. G., Amaro, R. C. R., Araújo, S. S. S., & dos Santos Bastos, J. B. (2020). Diagnóstico da coleta de resíduos sólidos recicláveis no município de Morada Nova – CE. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(3), 298-319. https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020298-319

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62(12), 2588-2597. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025

Costa, C. C., Dos Santos, Z. I. G., Ueki, M. M., & Almeida, L. E. (2020). Biocompósito de polietileno da alta densidade com casaca de arroz e oxibiodegradante orgânico para produção de embalagens biodegradáveis. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(3), 202-216. https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020202-216

Coutinho, F., Mello, I. L., & Santa Maria, L. C. D. (2003). Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. *Polímeros*, 13(1), 1-13. https://doi.org/10.1590/S0104-14282003000100005

De Jesus Silva, A. J. (2020a). Análise comparativa da curva de viscosidade e do índice de fluidez de dois grades de polipropileno utilizando reometria capilar. *Revista Sítio Novo*, 4(3), 97-108. http://dx.doi.org/10.47236/2594-7036.2020.v4.i3.97-108p

De Jesus Silva, A. J. (2020b). Análise de variáveis e determinação do grau de inchamento do extrudado durante o processamento de grade de polipropileno industrial. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, 7(2), 03-22.

De Jesus Silva, A. J., Contreras, M. M., Nascimento, C. R., & Da Costa, M. F. (2020). Kinetics of thermal degradation and lifetime study of poly (vinylidene fluoride) (PVDF) subjected to bioethanol fuel accelerated aging. *Heliyon*, 6(7), e04573. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04573

De Jesus Silva, A. J., & da Costa, M. F. (2019). Avaliação mecânica de materiais poliméricos utilizando indentação instrumentada (TII): Revisão de conceitos e estudo de caso. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 11(4), 176-192.

De Jesus Silva, A. J., & Da Silva Egas, V. S. (2022). Percepção da importância do uso de atividades experimentais na aprendizagem de química de um grupo de estudantes concluintes do ensino médio em uma escola pública em Tefé/AM. *Revista Insignare Scientia-RIS*, 5(1), 209-234.

De Jesus Silva, A. J., Lopes, A. P., Da Silva, A. T. O., Da Costa Maurício, A., Da Silva Santana, F. F., Silva, C. M., Dos Santos, G. G., & Lourenço, I. R. (2021). Tempos de pandemia: efeitos do ensino remoto nas aulas de química do ensino médio em uma Escola Pública de Benjamin Constant, Amazonas, Brasil. *Journal of Education, Science and Health*, 1(3).
https://doi.org/10.52832/jesh.v1i3.36

De Jesus Silva, A. J. (2022). Obtenção e caracterização comparativa de quatro diferentes composições elastoméricas baseadas em uma matriz única de estireno-butadieno. *ScientiaTec*, 9(1), 4-22.
https://doi.org/10.35819/scientiatec.v9i1.4159

Del Carpio, D. C. P. (2009). *Degradação físico-química do PVC causada por derivados de petróleo*. Tese de Doutorado (Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro).

De Melo, B. B., Lima, R. A., & De Araújo Pantoja, T. M. (2019). Ocorrência e interferências antrópicas sobre Pteronura brasiliensis (Mammalia, carnívora) no Igarapé Esperança, em zona urbana de Benjamin Constant - AM, Brasil. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 8(1), 641-662.
https://doi.org/10.19177/rgsa.v8e12019641-662

Figueiredo, A. M., & Souza, S. R. G. (2008). *Como elaborar projetos, monografias, dissertações e teses: da redação científica à apresentação do texto final.* (2. ed.). Rio de Janeiro: Editora Lumen Juris.

Higuchi, M. I. G.; Calegare, M. G. A.; Porto, M. L. S. G.; Lima, M. B. D. F.; & FEITOSA, R. M. F. (2011). Diagnóstico socioambiental do município de Benjamin Constant/AM, Relatório Técnico do Projeto Dinâmica do Carbono da Floresta Amazônica (CADAF), p. 1–103, Manaus, AM, 2011.

IBGE. (2020). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População Estimada em 2020. Brasília, DF. https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/benjamin-constant/panorama

Lorandi, P. D. (2016). Determinação da influência dos parâmetros de extrusão na reologia e propriedades mecânicas de resinas PEAD. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia).

Mancini, S. D., Nogueira, A. R., Kagohara, D. A., Schwartzman, J. A., Mattos, T. D., & Rosa, A. H. (2008). Influência do tipo de coleta (comum ou seletiva) na reciclagem de filmes de poliolefinas pós-consumo. *Polímeros*, 18(4), 289-296. https://doi.org/10.1590/S0104-14282008000400006

Mano, E. B., & Mendes, L. C. (2000). Identificação de plásticos, borrachas e fibras. (1 ed.), São Paulo: Editora Blucher.

Mano, E. B.; & Mendes, L. C. (1999). Introdução a polímeros. (2. ed.), São Paulo: Edgard Blücher.

Mark, J. E. (2009). Polymer data handbook. New York: Oxford University Press.

Monteiro, E., Soares, B. G., & Lucas, E. F. (2001). Caracterização de polímeros. Determinação do peso molecular e análises térmicas. (1. ed.), Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais.

Monteiro, R. C. P., Sul, J. A. I. D., & Costa, M. F. (2020). Small microplastics on beaches of Fernando de Noronha Island, Tropical Atlantic Ocean. *Ocean and Coastal Research*, 68, e20235, 1-10.
http://dx.doi.org/10.1590/S2675-28242020068235

Olivatto, G. P., Carreira, R., Tornisielo, V. L., & Montagner, C. C. (2018). Microplásticos: Contaminantes de preocupação global no Antropoceno. *Revista Virtual de Química*, 10(6), 1968-1989.
https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180125

Pessôa, V. A. F. (2018). *Reciclagem e Reutilização de Materiais Poliméricos Plásticos, Projeto de Graduação.* Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica).

Pettarin, V., Churruca, M. J., Felhös, D., Karger-Kocsis, J., & Frontini, P. M. (2010). Changes in tribological performance of high molecular weight high density polyethylene induced by the addition of molybdenum disulphide particles. *Wear*, 269(1-2), 31-45. https://doi.org/10.1016/j.wear.2010.03.006

Quiroz, M. Y. Y. C, Freitas, O. B., & Brandão, E. G. (2017). Hidroquímica das águas do Igarapé Esperança no município de Benjamin Constant – AM. *In: 57º Congresso Brasileiro de* Química, Gramado, RS. http://www.abq.org.br/cbq/2017/trabalhos/13/12010-20632.html

Rodolfo Jr, A., & Mei, L. H. I. (2007). Mecanismos de degradação e estabilização térmica do PVC: a review. *Polímeros*, 17(3), 263-275. https://doi.org/10.1590/S0104-14282007000300018

Silva, A. J. J., Berry, N. G., & Costa, M. F. (2016). Structural and thermo-mechanical evaluation of two engineering thermoplastic polymers in contact with ethanol fuel from sugarcane. *Materials Research*, 19(1), 84-97. http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0480

Silva, A. J. J., Nascimento, C. R., & Da Costa, M. F. (2016). Thermomechanical properties and long-term behavior evaluation of poly (vinylidene fluoride) (PVDF) exposed to bioethanol fuel under heating. *Journal of Materials Science*, 51(19), 9074-9094. https://doi.org/10.1007/s10853-016-0159-2

Silva, E. A. D., & Moita Neto, J. M. (2016). Possibilidades de melhorias ambientais no processo de reciclagem do polietileno. *Polímeros*, 26, 49-54. https://doi.org/10.1590/0104-1428.1954

Spinacé, M. A. S., & De Paoli, M. A. (2005). A tecnologia da reciclagem de polímeros. *Química nova*, 28(1), 65-72. https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000100014

Wang, Z., Pang, H., Li, G., & Zhang, Z. (2006). Glass transition and free volume of high impact polystyrene/TiO_2 nanocomposites determined by dilatometry. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 45(5), 689-697. http://dx.doi.org/10.1080/00222340600890497