

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO POR RESÍDUOS SÓLIDOS POLIMÉRICOS EM ÁREAS DE PERÍMETRO URBANO EM BENJAMIN CONSTANT, AMAZONAS, BRASIL

EVALUATION OF POLLUTION BY POLYMERIC SOLID WASTE IN AREAS OF URBAN PERIMETER IN BENJAMIN CONSTANT, AMAZONAS, BRAZIL

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS SÓLIDOS POLIMÉRICOS EN ÁREAS DE PERÍMETRO URBANO EN BENJAMIN CONSTANT, AMAZONAS, BRASIL

Agmar José de Jesus Silva^{1*} , Matheus de Souza Dias² 

¹Doutor 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; ²Graduando em Licenciatura em Ciências: Biologia e Química pelo Instituto de Natureza e Cultura (INC/UFAM), Benjamin Constant, Amazonas, Brasil.

*Autor correspondente: agmarster@gmail.com

Recebido: 20/10/2022 | Aprovado: 29/12/2022 | Publicado: 10/01/2023

Resumo: Benjamin Constant (BC), importante cidade do Alto Solimões, Estado do Amazonas, recebeu melhorias em sua infraestrutura urbana nos últimos anos, incluindo pavimentação de ruas e iluminação pública. Contudo, ainda há falta de uma rede adequada de tratamento de esgoto sanitário, assim como de um sistema eficiente de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos, especialmente os poliméricos, os quais têm elevado potencial poluidor associado a um longo tempo de degradação no meio ambiente. Esses materiais podem ser facilmente encontrados em igarapés e rios da região, afetando seus equilíbrios ecológicos. Nesse escopo, esse trabalho objetivou realizar a identificação e a caracterização de resíduos sólidos poliméricos descartados indevidamente em diferentes regiões no perímetro urbano de Benjamin Constant. Amostras desses materiais (objetos plásticos) foram coletadas em cinco regiões da cidade, incluindo ruas/avenidas, igarapés e área portuária. Os materiais foram classificados quanto ao tipo de polímero presente, conforme os códigos da norma ABNT/NBR 13.230/2018. Verificou-se uma grande quantidade e diversidade desses resíduos em diferentes áreas da cidade, contribuindo para a degradação do meio ambiente local. No resíduo separado e identificado, notou-se a predominância dos polímeros PET (15 a 28%), PS (19 a 23%), PP (15 a 35%) e PEAD (1 a 30%), a depender da região de investigação considerada. Observou-se também um percentual elevado (26 a 37%) de materiais não identificados com os códigos da norma utilizada. Conclui-se ser urgente a criação de políticas públicas de coleta seletiva, reciclagem, e desenvolvimento urbano sustentável em BC, além de trabalhar estratégias de educação ambiental junto à população.

Palavras-chave: Resíduos sólidos poliméricos. Poluição ambiental. Reciclagem. Desenvolvimento sustentável. Benjamin Constant - AM.

Abstract: Benjamin Constant (BC), an important city in Alto Solimões, State of Amazonas, has received improvements in its urban infrastructure in recent years, including street paving and public lighting. However, there is absence of an adequate sanitary sewage treatment network, as well as of an efficient system of selective collection of urban solid waste, especially polymeric waste, which has a high polluting potential associated with a long time of degradation in the environment. These materials can be easily found in streams and rivers in the region, affecting their ecological balances. In this scope, this work aimed to realize the identification and characterization of polymeric solid waste improperly discarded in different regions of the urban perimeter of BC city. Samples of polymeric materials (plastic objects) were collected in five regions of the city, including streets/avenues, streams and port area. The materials were classified according to the type of polymer, using for this the ABNT/NBR 13.230/2018 standard codes. It was constated a large amount of polymeric solid waste in different areas of the city, contributing to degradation of the local environment. In the residues evaluated, the polymers PET (15 to 28%), PS (19 to 23%), PP (15 to 35%) and HDPE (1 to 30%) predominated. Additionally, it was found 26 to 37% of the samples lacking identification codes. As conclusion, it was verified to be urgent the creation of public policies for selective collection, recycling, and sustainable urban development in BC, in addition to work environmental education strategies with the population.

Keywords: Polymeric solid waste. Environment pollution. Recycling. Sustainable development. Benjamin Constant - AM.

Resumen: Benjamin Constant (BC), importante ciudad de Alto Solimões, Estado de Amazonas, recibió mejoras en su infraestructura urbana en los últimos años, incluyendo pavimentación de calles y alumbrado público. Sin embargo, aún falta una red adecuada de tratamiento de alcantarillado sanitario, así como un sistema eficiente de recolección selectiva de residuos sólidos urbanos, en especial los residuos poliméricos, los cuales tienen un elevado potencial contaminante asociado a un tiempo prolongado de degradación en el medio ambiente. Estos materiales se pueden encontrar fácilmente en los arroyos y ríos de la región, afectando el equilibrio ecológico de estos ambientes. Así, este trabajo tuvo como objetivo realizar la identificación y caracterización de residuos sólidos poliméricos desechados indebidamente en diferentes regiones del perímetro urbano de BC. Muestras de estos materiales (objetos plásticos) fueron recolectadas en diferentes regiones, incluyendo calles/avenidas, arroyos y zona portuaria. Los materiales fueron clasificados acorde los códigos de la ABNT/NBR 13.230/2018. Se constató una gran cantidad y diversidad de estos residuos en diferentes zonas de la ciudad, contribuyendo a la degradación del medio ambiente local. En los residuos evaluados predominaron los polímeros PET (15 a 28%), PS (19 a 23%), PP (15 a 35%) y HDPE (1 a 30%). Adicionalmente, se observó que entre 26 y 37% de las muestras carecían de códigos de identificación. Como conclusión, se constató que es urgente la creación de políticas públicas de recolección selectiva, reciclaje y desarrollo urbano sustentable en BC, al mismo tiempo en que se debe trabajar estrategias de educación ambiental con la población.

Palabras-clave: Residuos sólidos poliméricos. Contaminación ambiental. Reciclaje. Desarrollo sustentable. Benjamin Constant - AM.

1 INTRODUÇÃO

Os materiais plásticos (ou poliméricos) são facilmente encontrados em uma grande diversidade de objetos do nosso dia a dia, tais como sacos, sacolas, garrafas plásticas, frascos de remédios, produtos de limpeza, produtos de beleza e higiene, embalagens de alimentos, entre outras aplicações (Mano & Mendes, 1999; Canevarolo Jr, 2002; Spinacé & De Paoli, 2005; Akcelrud, 2007; Lima, 2012). São variadas também as aplicações desses materiais nos setores da indústria em geral, por exemplo, automobilística, aeronáutica, química e agroquímica, petroquímica, elétrica, de construção civil, entre outras (De Oliveira, 2012; Lima, 2012; Silva, Berry & Costa, 2016; Silva, Nascimento & Da Costa, 2016; De Jesus Silva, 2017; De Jesus Silva & Da Costa, 2019; De Jesus Silva, 2020a; De Jesus Silva, 2020b; De Jesus Silva *et al.*, 2020; De Jesus Silva *et al.*, 2022; De Jesus Silva, 2022). De acordo com De Paoli (2005), no âmbito das maiores cidades brasileiras, os resíduos sólidos urbanos poliméricos mais comuns são o polietileno de alta densidade (PEAD), o polietileno de baixa densidade (PEBD), o polietileno tereftalato (PET), o policloreto de vinila (PVC) e o polipropileno (PP). No caso do trabalho em questão, é importante mencionar também o poliestireno (PS), que foi um dos destaques entre os polímeros presentes no resíduo sólido avaliado.

Contudo, o descarte destes materiais no meio ambiente, especialmente em cidades, após a vida útil dos mesmos, vem sendo feito de forma inadequada em muitas regiões do País, inclusive na amazônica (Lima, 2012). A conduta imprópria pode ocorrer tanto pelas populações das cidades, ao descartarem materiais plásticos no meio ambiente por descuido ou mesmo por desconhecimento do risco ambiental inerente, quanto pelos órgãos competentes que, ao destinarem seus resíduos sólidos urbanos para locais como lixões a céu aberto, deixam de cumprir adequadamente sua função social (De Assis & Dos Santos, 2020; Do Nascimento & Alves, 2020).

Conforme relatado por Matos & Schalch (2007), Lima (2012), e Pessoa (2018), os resíduos sólidos poliméricos tem degradação lenta, comprometendo a vida útil dos aterros sanitários, contudo têm considerável potencial econômico, se adequadamente reciclados ou reutilizados. Isto é, seu descarte indevido, para além da poluição ambiental, significa perda de receita e de postos de trabalho para as gestões municipais.

Adicionalmente, quando abandonados no meio ambiente, os plásticos afetam diretamente a sobrevivência e a conservação das formas de vida biológica presentes em rios, ribeirões e igarapés, bem como a qualidade de suas águas, pois as embalagens podem conter restos de produtos contaminantes (De Araújo *et al.*, 2019; De Assis & Dos Santos, 2020; De Araújo *et al.*, 2021; De Jesus Silva *et al.*, 2022).

Benjamin Constant é uma cidade importante do extremo oeste do Estado do Amazonas, Brasil, estabelecendo-se em uma porção territorial à margem direita do rio Javari. Por estar situada numa região estratégica de fronteira tríplice (Brasil, Peru e Colômbia), a cidade tem um importante papel turístico, econômico e social, além de concentrar um fluxo considerável de pessoas que exercem atividades comerciais o ano todo. Com a criação de um campus da Universidade Federal do Amazonas em 2005 (Brasil, 2005), a cidade tornou-se desde então um polo universitário que vem atraindo jovens amazonenses de vários municípios circunvizinhos, além de empresários em busca de novos negócios.

Contudo, Benjamin Constant ainda carece de muitas melhorias em seus sistemas de serviços urbanos. Conforme Higuchi *et al.* (2011), a rede de fornecimento de água, cuja captação é feita no rio Javari, atendia apenas 46% da população em 2011, porém, essa rede tem recebido progressos resultantes de ações do Governo do Amazonas nos últimos anos, o que melhorou substancialmente esse quadro. A concretagem de ruas dos últimos cinco anos também trouxe muitos benefícios ao deslocamento das pessoas. Adicionalmente, houve reparos na iluminação pública (instalação de lâmpadas de LED em postes), o que beneficiou a segurança pública e a trafegabilidade de pessoas e veículos. No entanto, ainda permanece a ausência de captação e tratamento adequado de esgoto sanitário. Além disso, os resíduos sólidos domésticos são coletados por caminhões da prefeitura e despejados em um lixão nas proximidades da cidade. Não há coleta seletiva e nem programas de reciclagem estruturados no município.

Ademais, há a necessidade de se conhecer a composição desse resíduo sólido urbano gerado diariamente no município, por exemplo, os tipos de materiais plásticos predominantes. Esses materiais, quando descartados de maneira inadequada, poluem o meio ambiente e causam sérios prejuízos, tais como contaminação de águas, morte de animais, e geração de microplásticos, entre outros (De Assis & Dos Santos, 2020; De Jesus Silva *et al.*, 2022).

Os fatores acima, somados a outros, tais como o crescimento populacional e do comércio, e a ausência de uma cultura de reuso/reciclagem de resíduos sólidos urbanos pela população, pode estar contribuindo para a degradação acelerada do meio ambiente local, incluindo rios e igarapés (De Melo, Lima, & De Araújo Pantoja, 2019; Quiroz, Freitas & Brandão, 2020; De Araújo *et al.*, 2021; De Jesus Silva *et al.*, 2022). Conforme esses autores, as causas dessa degradação são várias, desde a utilização dos igarapés da cidade como depósito de resíduos até o descarte de efluentes domésticos e outros materiais poluentes. Isso afetada diretamente tanto a fauna e flora desses ambientes aquáticos quanto a saúde e a qualidade de vida da população local.

Lima (2012, p. 19) reporta que há necessidade de “discutir os elementos que influenciaram a construção de uma sociedade baseada no consumo e seus reflexos sobre o equilíbrio ambiental dos ecossistemas”. O problema torna-se ainda mais grave, pois resíduos sólidos poliméricos têm elevado tempo de degradação no meio ambiente (geralmente maior que 100 anos) (Lima, 2012). Soma-se a isso a formação de microplásticos, isto

é, a produção de pequenos fragmentos plásticos (Olivatto *et al.*, 2018; De Jesus Silva *et al.*, 2022). Estes podem ser confundidos com alimento e ingeridos por peixes e outros animais marinhos, resultando em contaminação por substâncias químicas presentes em sua composição, ou obstrução do trato digestório, com consequente morte por desnutrição (Araújo & Silva-Cavalcanti, 2016; Olivatto *et al.*, 2018).

Nesse contexto de degradação ambiental, este trabalho se justifica pela possibilidade de gerar informações referentes aos resíduos sólidos poliméricos que estão sendo descartados indevidamente em diferentes áreas do perímetro urbano de Benjamin Constant, tais como ruas, avenidas, leitos de rios e igarapés, e regiões de grande fluxo de pessoas, como é o caso da área portuária. Para o poder público local, essas informações serão importantes no sentido de subsidiar a proposição ou aprimoramento de políticas públicas de gestão integrada dos resíduos sólidos, auxiliando assim tanto na prevenção da poluição ambiental quanto na criação de estratégias de reutilização ou reciclagem desses materiais. Para a comunidade acadêmica da região, o trabalho pode despertar novos olhares sobre a questão e estimular outros trabalhos na área.

Dessa forma, esse trabalho teve por objetivo realizar a identificação e a caracterização de resíduos sólidos poliméricos descartados indevidamente em diferentes regiões no perímetro urbano da cidade de Benjamin Constant, Amazonas, Brasil, através do reconhecimento dos materiais constituintes de amostras desse resíduo pela visualização dos códigos de identificação conforme a norma ABNT/NBR 13.230/2018 (ABNT, 2018).

2 PERCURSO METODOLÓGICO

2.1 Caracterização da pesquisa

O método de pesquisa utilizado no trabalho foi o método experimental, de caráter quali-quantitativo, utilizado com frequência na área de ciências naturais, conforme reportado por Figueiredo e Souza (2008). A técnica de pesquisa envolveu pesquisa bibliográfica e pesquisas de campo (quantitativo-descritiva, exploratória e experimental), com uso do procedimento de amostragem aleatória simples como forma de escolha das amostras da pesquisa.

2.2 Área de estudo

A pesquisa em questão envolveu cinco regiões do perímetro urbano da cidade de Benjamin Constant, Amazonas, Brasil (Quadro 1). A delimitação das regiões incluiu ruas/avenidas, área portuária, e rios ou igarapés que cortam a cidade ou que por ela encaminham seus cursos d'água.

Quadro 1 – Relação das áreas de coleta (regiões de investigação) estabelecidas na pesquisa.

Regiões de investigação (áreas de coleta)	Descrição
1ª região	Rua Américo Maciel
2ª região	Rua Frei Ludovico
3ª região	Avenida Castelo Branco
4ª região	Igarapé Esperança (na altura da região central da cidade)
5ª região	Área Portuária

Fonte: Autores (2022).

2.3 Procedimentos de coleta e preparação de amostras

A coleta de amostras de resíduos sólidos poliméricos nas regiões de investigação descritas no Quadro 1 ocorreu em cinco dias não consecutivos, compreendidos entre os meses de dezembro de 2021 a fevereiro de 2022, coincidindo com o período do inverno amazônico. O processo de coleta das amostras foi feito de forma manual. Os executores da pesquisa, utilizando os devidos equipamentos de proteção individual (luvas, botas de borracha, jaleco, óculos de proteção e chapéu), se deslocaram em velocidade aproximadamente constante durante um tempo de 45 min dentro do perímetro de cada área de coleta estabelecida no Quadro 1, coletando assim o máximo possível de amostras nesse intervalo de tempo. As coletas realizadas em cada região se encerravam quando um cronômetro de relógio de pulso completava o tempo estipulado (45 min).

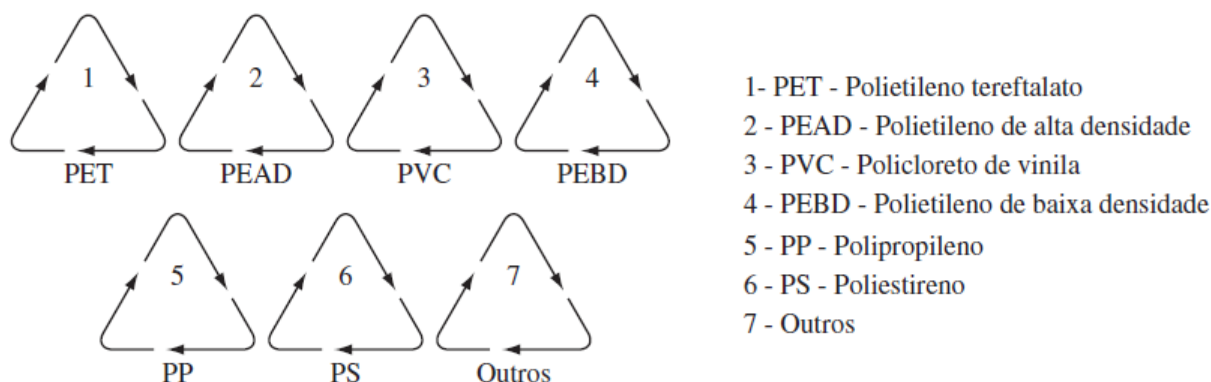
As amostras coletadas em cada região de investigação eram armazenadas em sacos plásticos grandes e identificados por região de coleta. Posteriormente, seguiam para as etapas de identificação, avaliação e caracterização de amostras individuais encontradas por cada região de investigação.

2.4 Caracterização experimental

O preparo das amostras de resíduo sólido polimérico descartado nas regiões de investigação delimitadas no Quadro 1, para sua posterior identificação, se iniciava com uma separação manual das amostras coletadas (a maioria embalagens ou produtos plásticos) por similaridade de forma e uso, por exemplo, garrafas de refrigerante, garrafas de água mineral, copos descartáveis, entre outros. Posteriormente, as amostras eram contadas, ordenadas numericamente e identificadas conforme os códigos e siglas estabelecidos pela norma ABNT 13.230/2018 (ABNT, 2018).

A Figura 1 mostra a sequência de símbolos utilizados na identificação de embalagens poliméricas, em conformidade com as regras dessa norma. A norma agrupa os polímeros em 7 subgrupos, onde cada subgrupo recebe uma numeração (código) que é inscrita pelo fabricante no produto acabado. Os números 1 a 7 são inscritos no interior de um triângulo com setas consecutivas, onde cada número representa um tipo de polímero presente na composição da embalagem ou objeto plástico, conforme reportado por Coltro, Gasparino & Queiroz (2008); e De Jesus Silva *et al.* (2022). Por exemplo, o número 1 representa o grupo do polietileno tereftalato, cuja sigla oficial é “PET”. As setas consecutivas sinalizam a reciclabilidade desses materiais.

Figura 1 – Simbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas conforme a ABNT/NBR 13.230/2018.



Fonte: Adaptado Coltro, Gasparino & Queiroz (2008).

Durante a separação dos polímeros foi feita também a descrição de aspectos físicos (capacidade da embalagem, em volume ou massa, cor, e descrição da forma). As amostras que apresentavam os mesmos códigos e as mesmas características em termos de forma e volume eram agrupadas para facilitar os cálculos posteriores de porcentagem de incidência de cada material. Os dados coletados foram plotados em planilhas do Microsoft Excel 2016 e tabulados, para posterior tratamento matemático, análises gráficas e discussão de resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Processo de classificação e quantificação de amostras por região de investigação

Ao se deslocar a campo para realizar a coleta de amostras, os pesquisadores notaram rapidamente que todas as regiões de investigação apresentavam uma quantidade e variedade considerável de resíduos sólidos poliméricos espalhados no meio ambiente, ou seja, descartados de forma inadequada nos mais diversos locais da cidade, tal como exemplificado na Figura 2a-b. Essa observação revela a gravidade do problema ambiental em questão e a situação precária que o município vivencia em relação ao tratamento e destinação final de parte de seus resíduos sólidos urbanos, especialmente os poliméricos (plásticos). Nota-se, adicionalmente, a necessidade de fomentar programas de educação ambiental junto à população local, que pode não ter ainda uma ideia mais precisa da dimensão do problema ambiental gerado como esse tipo de descarte.

Figura 2 – Resíduos sólidos poliméricos acumulados em duas das cinco regiões de investigação.



Fonte: Autores (2022).

Esse tipo de resíduo gera impactos ambientais que se iniciam com o seu descarte inadequado nos espaços urbanos, como vem acontecendo em Benjamin Constant e em muitas outras cidades brasileiras (De Jesus Silva *et al.*, 2022), sendo em seguida carregados por agentes naturais como o vento e a chuva até ao leito de rios e igarapés, e daí para os oceanos. Pedacos de plástico pequenos ou mesmo objetos plásticos inteiros, por serem muitas vezes coloridos e atrativos, uma vez presentes nos rios e oceanos podem atrair e confundir animais, sendo então consumidos por corais, plânctons, peixes e baleias, e assim transferidos ao longo da cadeia alimentar, provocando perigos toxicológicos à biota aquática e até aos seres humanos que consumirem frutos do mar contaminados (Alimba & Faggio, 2019; Chatterjee & Sharma, 2019).

Iniciado o processo de classificação das amostras poliméricas utilizando os códigos da ABNT 13.230/2018 para a identificação de seus polímeros constituintes, o primeiro fato interessante observado foi que muitas das embalagens encontradas não apresentavam apenas um polímero em sua composição, ou seja, podiam apresentar dois, três ou até mais tipos de polímeros em uma mesma embalagem. Um exemplo disso foi a embalagem de óleo de soja (óleo de cozinha) que possuía quatro tipos de polímeros em sua constituição: PET transparente para o frasco, PP multicolorido para o rótulo, e PEAD nos tons branco opaco e amarelo opaco na tampa e dobradiça, respectivamente. Em situações como esta, cada parte da embalagem foi contabilizada separadamente, representando uma amostra individual, o que significa que um frasco de óleo de cozinha contabilizava quatro amostras poliméricas diferentes e individuais.

O Quadro 2 apresenta a data das coletas e o número total de amostras coletadas no intervalo de tempo de 45 min para cada região de investigação proposta. Os resultados dessa tabela revelam que a 5ª região (Área Portuária) foi a que apresentou o maior número de amostras coletadas no intervalo de tempo de tempo estabelecido (246 amostras), seguida pela 4ª região (Igarapé Esperança, com 153 amostras). Em terceiro lugar apareceu a 1ª e 2ª regiões, empatadas com 135 amostras cada, e por último a 3ª região, com um total de 68 amostras. Observa-se que ao todo 737 amostras foram analisadas, identificadas e classificadas.

Quadro 2 – Datas de coletas e número de amostras coletadas por região de investigação.

Região de investigação (área de coleta)	Descrição da região	Coleta realizada	Nº de amostras identificadas
1ª região	Rua Américo Maciel	12/12/2021	135
2ª região	Rua Frei Ludovico	21/12/2021	135
3ª região	Avenida Castelo Branco	09/02/2022	68
4ª região	Igarapé Esperança (na altura da região central da cidade)	15/03/2022	153
5ª região	Área Portuária	17/02/2022	246
Total de amostras			737

Fonte: Autores (2022).

O fato de a 5ª região ter apresentado um maior número de amostras coletadas e identificadas (33,4%) para o mesmo intervalo de tempo se justifica por ser esta uma região de fluxo intenso e diário de pessoas. O comércio na área portuária (mercado do peixe e feira do produtor de Benjamin Constant), assim como o

movimento de chegada e partida de passageiros no porto fluvial de BC, alimenta um fluxo intenso de pessoas. Consequentemente, a produção de resíduos sólidos também é mais elevada. Observou-se que nessa região portuária, embora parte do resíduo produzido seja recolhido diariamente pelo serviço de coleta de lixo e de limpeza urbana da cidade, uma outra parte significativa de resíduos, principalmente materiais plásticos, permaneciam abandonada no leito e margens do Rio Javari, ficando à deriva em suas águas, tal como pode ser visto na Figura 2b.

O Igarapé Esperança (4ª região de investigação, com 20,8% das amostras) também se mostrou um ponto de grande acúmulo de resíduos plásticos, o que ocorre devido ao fato de que muitos resíduos de outras áreas da cidade, em algum momento são carreados até ao leito desse Igarapé, onde se acumulam (Figura 2a), sendo uma parte transportada até aos rios maiores, como é o caso do Javari, e assim sucessivamente. Nesse sentido, De Melo, Lima & De Araújo Pantoja (2019), Quiroz, Freitas & Brandão (2020), e De Jesus Silva *et al.* (2022) reportam que o Igarapé Esperança vem sendo bastante degradado pela ação antrópica, sendo diversas as causas dessa degradação, entre elas a utilização do Igarapé como depósito de resíduos sólidos diversos (especialmente materiais plásticos), lixo eletrônico, esgotos domiciliares, entre outros.

A 1ª e 2ª regiões de investigação são também vias movimentadas da cidade, o que contribuiu para justificar o elevado número de amostras encontradas (135 para cada, 18,3% cada). Por outro lado, um número menor de amostras foi encontrado na Avenida Castelo Branco (3ª região), o que se deve ao fato de que essa Avenida é varrida e limpa com maior frequência, pela equipe de limpeza da Prefeitura da Cidade. Mesmo assim, as 68 amostras encontradas nessa região correspondem a 9,2% do total de amostras, o que é uma quantidade não negligenciável. Em um dia de chuva intensa (comuns no inverno amazônico), todo esse material poderia ser facilmente transportado da avenida até ao leito do Rio Javari, poluindo suas águas.

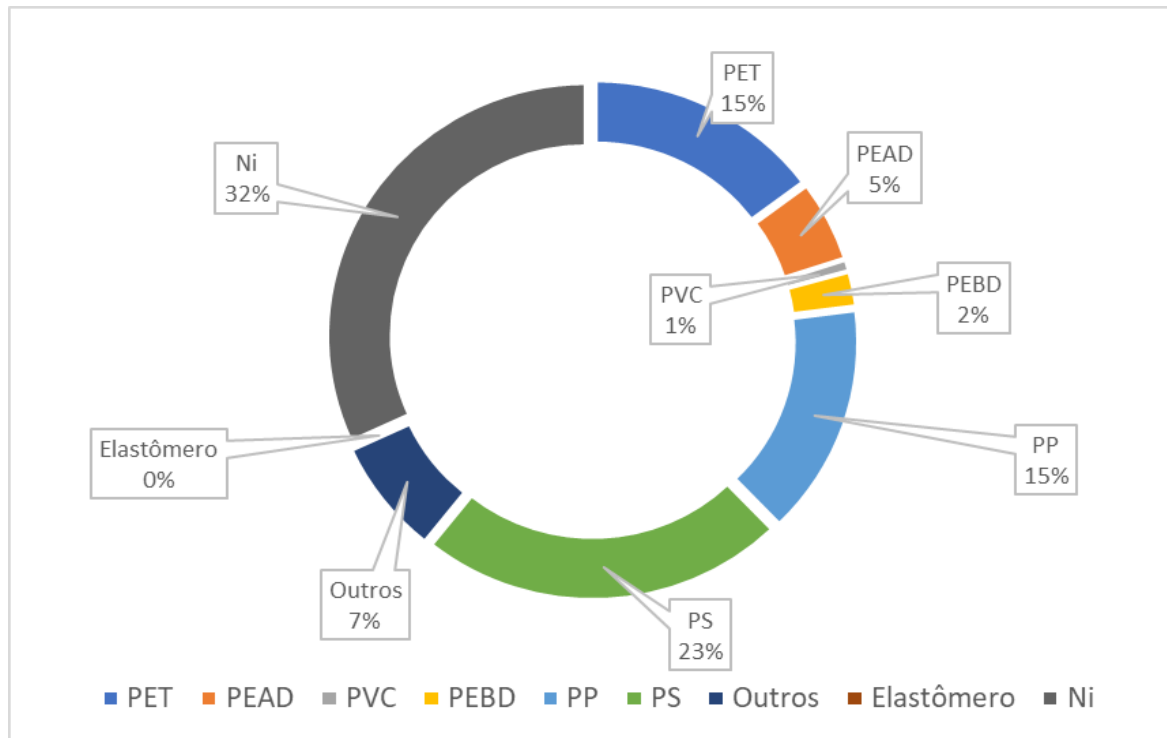
Dessa forma, observa-se que resíduos sólidos poliméricos foram encontrados em todas as regiões avaliadas, embora em diferentes quantidades. Isso significa, em termos práticos, que a população local não tem feito o descarte correto de seus resíduos plásticos, os quais, uma vez espalhados de forma incorreta no meio ambiente, como verificado, não têm destino certo, podendo ir parar no leito de rios e mares, se acumulando nesses locais, ou ainda pior, no estômago de algum animal aquático.

3.2. Materiais poliméricos predominantes na constituição das embalagens

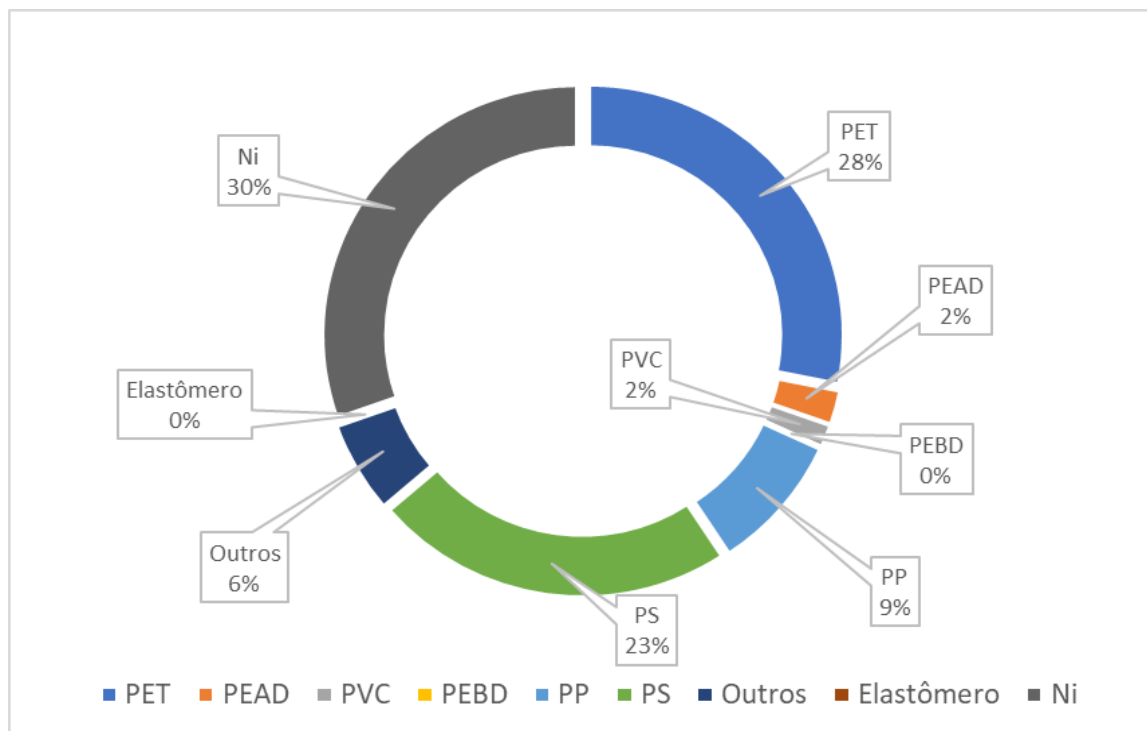
A Figura 3a-e apresenta o levantamento dos tipos de materiais poliméricos predominantes na constituição das embalagens encontradas, por região avaliada. O que chamou a atenção inicialmente foi o fato de que todas as regiões apresentaram muitas amostras não identificadas pelos códigos da ABNT/NBR 13.230/2018, as quais foram denominadas neste estudo de amostras “Ni” (Figura 3a-e). Foram exemplos de amostras Ni: tampas de garrafas de água e de refrigerantes, rótulos de embalagens diversas, sacolas, canudinhos, palito de pirulito, entre outras. Por outro lado, observou-se que a maioria das outras amostras (embalagens sem rótulo) ou o corpo principal das embalagens com rótulos (por exemplo, garrafa de refrigerante) apresentaram a identificação correta de seus polímeros constituintes.

Figura 3 – Participação percentual dos diferentes tipos de polímeros nas cinco regiões de investigação.

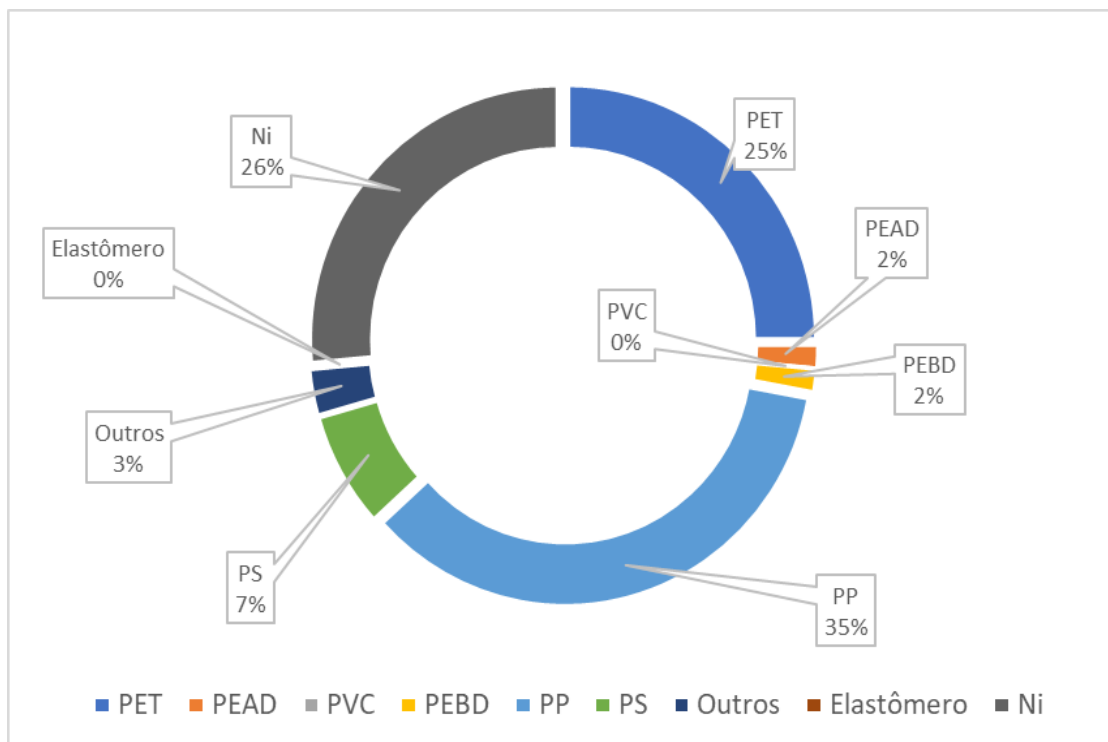
a) Rua Américo Maciel – Área/região 01



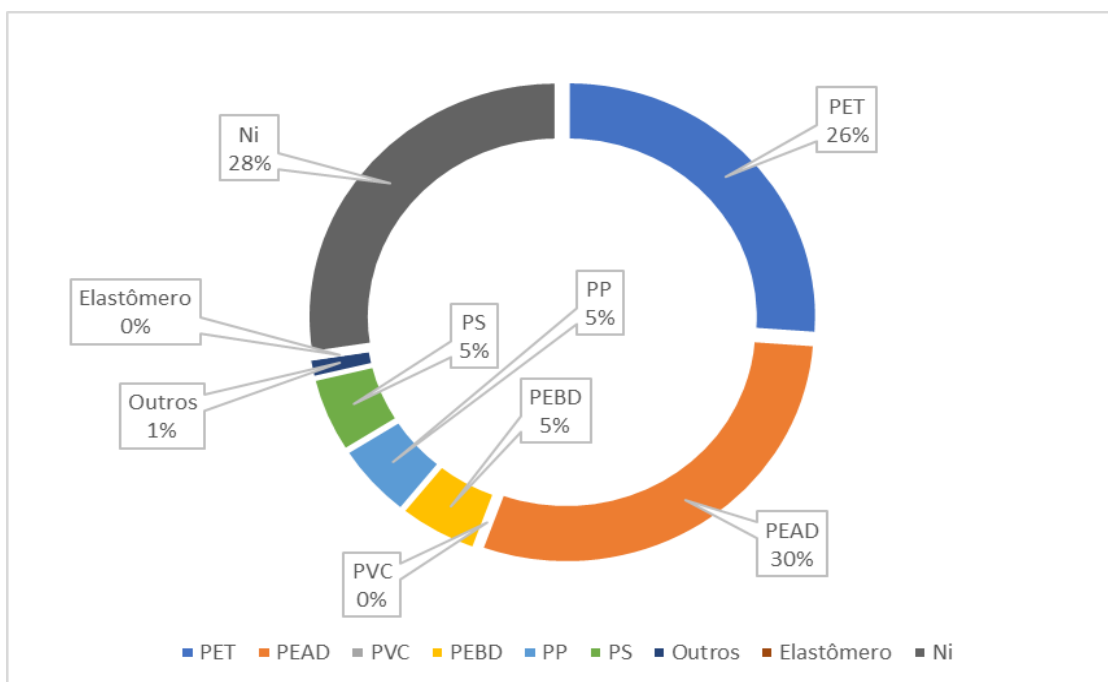
b) Rua Frei Ludovico – Área/região 02



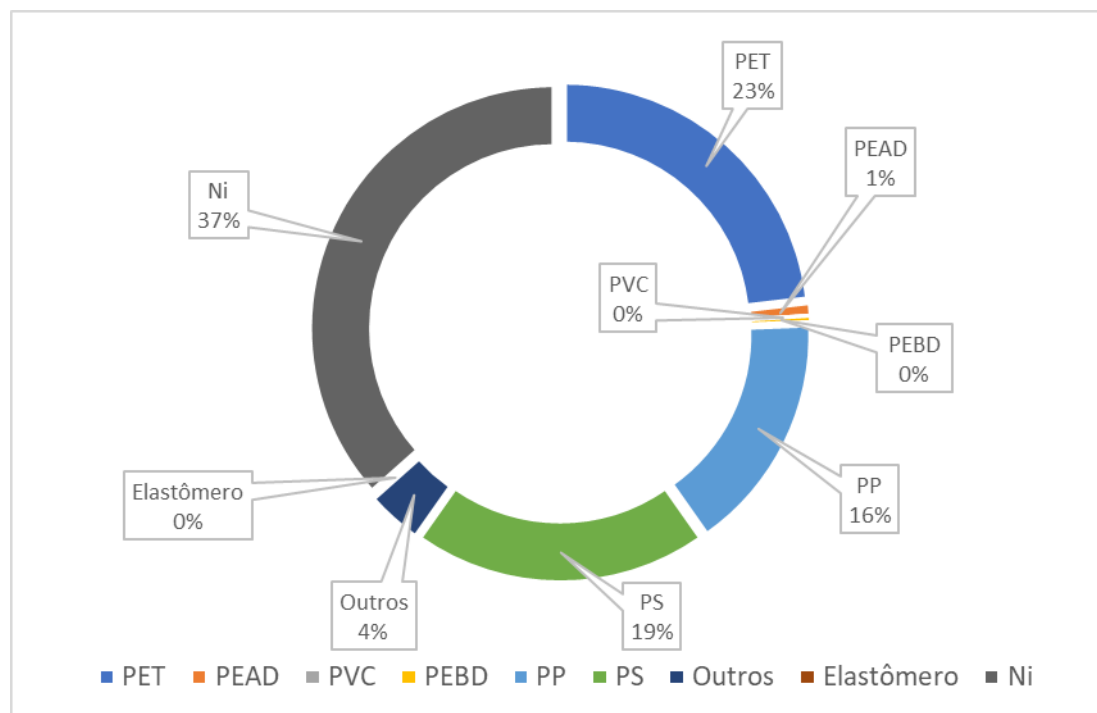
c) Avenida Castelo Branco – Área/região 03



d) Igarapé Esperança – Área/região 04



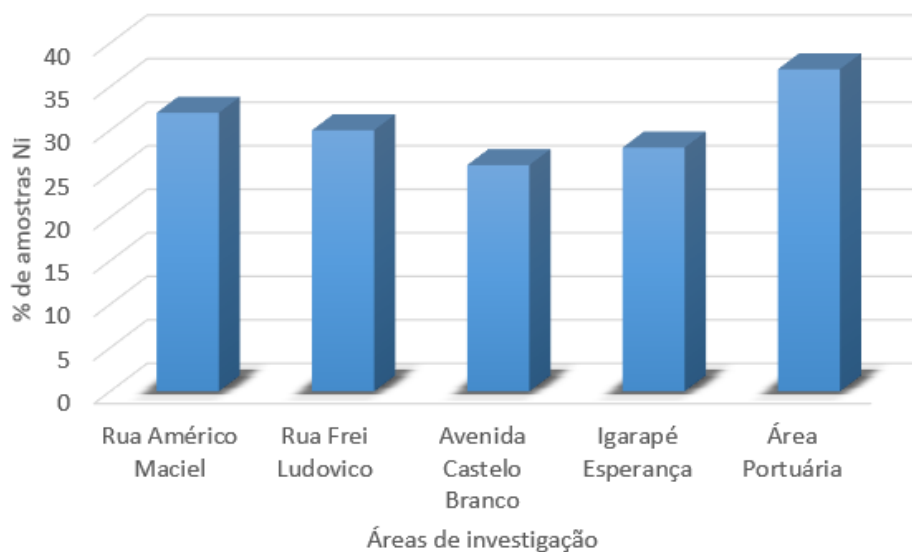
e) Área Portuária – Área/região 05



Fonte: Autores (2022).

A Figura 4 apresenta dados comparativos dos percentuais de amostras de material não identificado (Ni) para as cinco regiões investigadas. Observa-se que, apesar do número de amostras totais coletadas por área de investigação ser diferente entre si, o percentual de amostras Ni não variou muito, mantendo-se oscilante na faixa de 26 a 37%. Esses percentuais, no entanto, representam valores elevados em relação à incidência dos demais tipos de polímeros nas diferentes regiões investigadas, e revela que nem todas as empresas produtoras de materiais plásticos seguem à risca essa exigência. Isso é um problema relevante, pois interfere diretamente no processo de reciclagem, dificultando a identificação e a separação desses materiais visando uma reciclagem de melhor qualidade, principalmente se o objetivo for a reciclagem por reprocessamento do material, a qual envolve fusão e resfriamento controlado, tal como é feito para a maioria dos polímeros termoplásticos (Manrich, 2013; De Jesus Silva, 2017).

Portanto, observa-se que apesar da existência da ABNT/NBR 13.230/2018, o mercado apresenta produtos com informações ausentes sobre o tipo de resina de muitas embalagens plásticas, isto é, com falta do símbolo de identificação, conforme constatado também por Coltro, Gasparino & Queiroz (2008). Isso influencia direta e negativamente a cadeia de reciclagem do plástico, pois dificulta uma reciclagem eficiente e de boa qualidade. Nesse sentido, Coltro, Gasparino & Queiroz (2008, p. 125) relatam que a “divulgação da norma ABNT/NBR 13.230 deve ser uma atividade constante das Associações e Instituições que trabalham com embalagens plásticas, visando a máxima adequação deste setor e, assim, auxiliando a etapa de separação e posterior reciclagem dos plásticos”.

Figura 4 – Análise comparativa dos percentuais de amostras de material não identificado (Ni) para as cinco regiões.

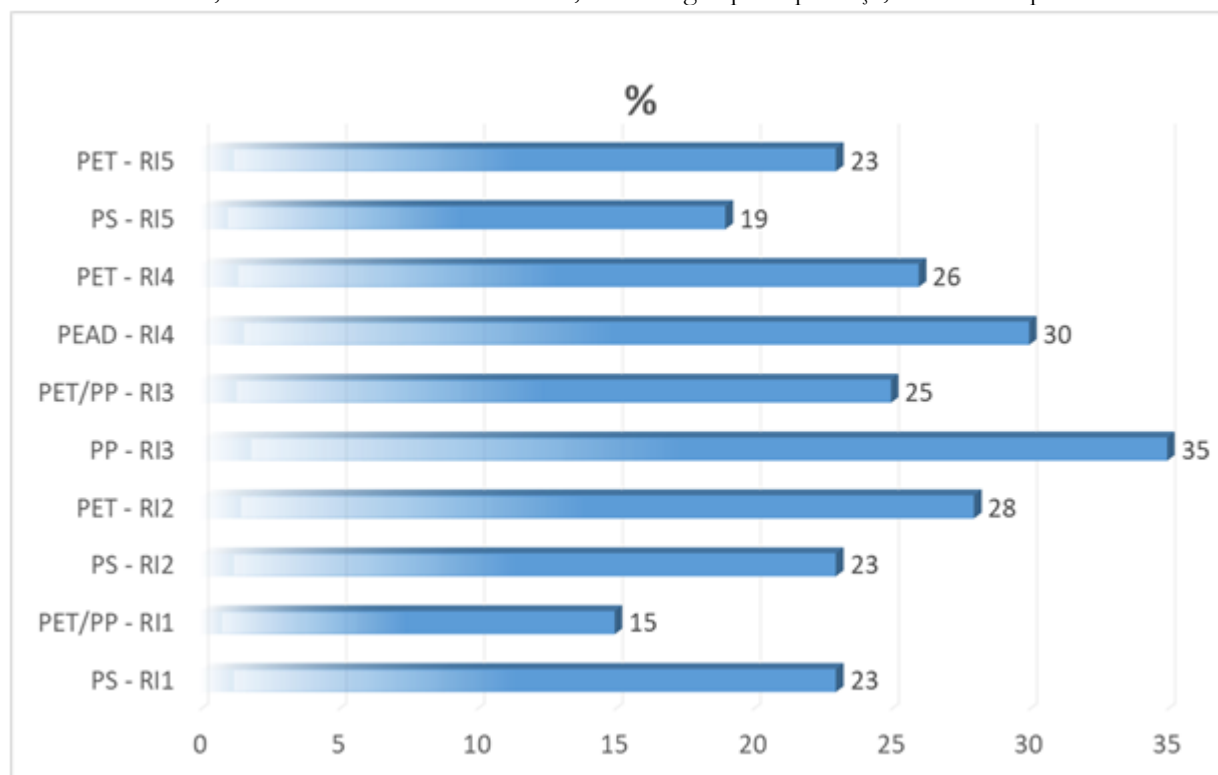
Fonte: Autores (2022).

3.3. Incidência dos tipos de polímeros encontrados por região de investigação

Além das amostras classificadas como “Ni”, a análise dos resultados da Figura 3a-e mostra que todas as cinco regiões (ou áreas) de investigação apresentaram uma grande distribuição de resíduos sólidos poliméricos que puderam ser separados e identificados de acordo com seus códigos ABNT. De forma geral, foram encontradas amostras de PET (polietileno tereftalato – código 1), PEAD (polietileno de alta densidade – código 2), PVC (policloreto de vinila – código 3), PEBD (polietileno de baixa densidade – código 4), PP (polipropileno – código 5), PS (poliestireno – código 6), e “Outros” (código – 7), todas classificadas conforme os procedimentos da ABNT/NBR 13.230/2018. Por outro lado, não foram identificadas amostras de elastômeros (materiais poliméricos borrachosos). O PVC, embora encontrado, apresentou índice de incidência muito baixo (de apenas 1%, na Rua Américo Maciel – Área/região 01). PEBD e “Outros – 7” tiveram índices de incidência que não ultrapassaram 7%. Conforme reportado por Coltro, Gasparino & Queiroz (2008), o símbolo “7 – Outros” é empregado para plásticos resultantes da combinação de vários outros plásticos, o que pode ser feito quando não se objetiva interesse nas propriedades físico-mecânicas de um tipo de resina em específico, e quando o produto final não requer propriedades físico-mecânicas elevadas. Um exemplo disso é a produção de sacos de lixo a partir de matéria prima reciclada.

A Figura 5 apresenta, de forma conjunta, os polímeros que ocuparam as duas primeiras posições de maior incidência nas cinco regiões de investigação avaliadas (denominadas de “RI”). O PS aparece como grupo de maior incidência em três destas regiões (RI1 e RI2, com 23%, e RI5, com 19%). Já o PET participou como grupo de maior incidência nas cinco regiões de investigação, sendo o grupo mais representativo em duas destas regiões (RI2, com 28%, e RI4, com 26%). Os dados do PET mostram ainda que, reciclando apenas esse polímero, em média 23,4% de resíduo sólido polimérico deixaria de contaminar o meio ambiente em Benjamin Constant. Já o PP aparece como polímero de maior incidência nas regiões 1 e 3, sendo destaque na RI3 (com 35%), enquanto o PEAD predominou na RI4 (Igarapé Esperança, com 30%).

Figura 5 – Polímeros de maior incidência por região de investigação: RI1 – Rua Américo Maciel, RI2 – Rua Frei Ludovico, RI3 – Avenida Castelo Branco, RI04 – Igarapé Esperança, RI5 – Área portuária.



Fonte: Autores (2022).

3.4. Proposição de sugestões socioambientais para o município de Benjamin Constant

A reciclagem é uma das formas mais eficazes de se reduzir os danos causados pelos resíduos sólidos urbanos, inclusive os poliméricos, pois ela ajuda a separar e recuperar essa matéria-prima plástica, evitando que esses materiais se acumulem indevidamente no meio ambiente das cidades ou nos lixões (Spinacé & De Paoli, 2005; Silva & Moita Neto, 2016; De Assis & Dos Santos, 2020), como vem ocorrendo também em Benjamin Constant. Através da implementação de projetos de reciclagem e de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos, o poder público pode evitar que esses materiais sejam descartados pelas pessoas em locais inapropriados, ajudando assim a reduzir os impactos ambientais causados pelo descarte indevido de resíduos sólidos poliméricos em áreas urbanas.

Outra alternativa muito importante para diminuir os impactos causados pela poluição advinda dos plásticos é o poder público investir mais em políticas relacionadas à educação ambiental, despertando na população (principalmente nos jovens) o hábito de evitar descartar esses materiais em locais inadequados, bem como educá-los a separar corretamente os resíduos sólidos de suas próprias residências, possibilitando, por exemplo, que uma empresa responsável pela manutenção e limpeza da cidade possa recolher o material e descartá-lo em um local apropriado, ou conduzi-lo até uma estação de coleta seletiva, e daí para uma planta de reciclagem. No momento da realização deste estudo, o município não possui uma unidade de coleta seletiva (UCS), e carece também de programas voltados à reciclagem dos resíduos sólidos poliméricos. Além disso, uma planta de reciclagem de polímeros (fábrica de reprocessamento de plásticos) é uma realidade distante no momento atual, porém, não impossível. Seria de grande importância a criação de uma UCS e de uma planta de

reprocessamento no município, para que o próprio possa transformar seu material plástico (ou ao menos parte desse material) em novos produtos, evitando assim que parte significativa desses resíduos plásticos continue sendo diariamente conduzida ao lixão da cidade.

A reciclagem é fundamental para o desenvolvimento sustentável de qualquer município brasileiro, além de ser uma atividade com potencial de geração de renda aos empreendedores envolvidos (Spinacé & De Paoli, 2005; De Jesus Silva, 2022). Assim, contribui com a criação de empregos e colabora diretamente para a melhoria da qualidade de vida das pessoas e na preservação do meio ambiente local (De Jesus Silva, 2022). Como Benjamin Constant é uma cidade do Amazonas em ritmo acelerado de crescimento populacional e econômico, torna-se imediata a necessidade de melhoria na gestão sustentável de seus resíduos sólidos urbanos, dentre eles os materiais plásticos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O descarte inadequado de grande quantidade de resíduos sólidos poliméricos em áreas urbanas da cidade de Benjamin Constant, vem resultando em poluição e degradação do meio ambiente. Essa problemática pode estar relacionada com o aumento do tamanho e da capacidade de consumo da população local, sem haver uma contrapartida municipal de investimentos em programas de coleta seletiva e reciclagem de resíduos sólidos urbanos, especialmente os poliméricos.

No resíduo sólido polimérico separado e identificado, notou-se a predominância dos polímeros PET (15 a 28%), PS (19 a 23%), PP (15 a 35%) e PEAD (1 a 30%), a depender da região de investigação considerada. Todos esses polímeros são materiais termoplásticos, portanto, recicláveis, ou ainda, reutilizáveis. Assim, podem retornar ao mercado sob a forma de novos produtos, ao invés de irem parar nos rios e igarapés locais.

Nas amostras poliméricas analisadas observou-se também um percentual elevado (26 a 37%) de materiais não identificados com os códigos da norma ABNT/NBR 13.230/2018. Isso deve ser levado em consideração no momento de propor programas de reciclagem. Apesar de ser um problema originado nas empresas produtoras desses materiais, pode afetar parte da cadeia de reciclagem dessas embalagens na fase pós-consumo.

Este estudo nos permitiu entender a necessidade de buscar junto às instituições acadêmicas, setor privado e poder público (órgãos competentes), a criação de políticas públicas efetivas de coleta seletiva, reciclagem, e desenvolvimento sustentável em Benjamin Constant, além de trabalhar estratégias de educação ambiental junto à população, especialmente com foco nos resíduos sólidos poliméricos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação (PROPEP) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pelo suporte financeiro ao projeto, no âmbito do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), em sua edição 2021/2022.

Conflitos de interesses

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

artigo.

Contribuições dos autores

Os autores trabalharam de forma conjunta e efetiva na realização da pesquisa.

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.

Alimba, C. G., & Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental toxicology and pharmacology*, 68, 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.001>

Araújo, M. C. B., & Silva-Cavalcanti, J. S. (2016). Dieta indigesta: milhares de animais marinhos estão consumindo plásticos. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 10(5), 74-81. <https://doi.org/10.22292/mas.v10i5.511>

Brasil. (2005). Ministério da Educação. Universidade Federal do Amazonas. *Resolução N°024/2005/CONSUNI de 25 de novembro de 2005*. Disponível em: <https://conselhos.ufam.edu.br/images/deliberacoes/res0242005suni.pdf>. Acesso em 03/08/2022.

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

Chatterjee, S., & Sharma, S. (2019). Microplastics in our oceans and marine health. *Field Actions Science Reports. The Journal of Field Actions*, (Special Issue 19), 54-61. <http://journals.openedition.org/factsreports/5257>

Coltro, L., Gasparino, B. F., & Queiroz, G. D. C. (2008). Reciclagem de materiais plásticos: a importância da identificação correta. *Polímeros*, 18, 119-125. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282008000200008>

De Araújo, T. V. 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>

De Araújo, T. V. M., Alves, C. N., Barbosa, S. M., De Castro, S. P., & da Ponte, F. K. S. (2021). The occurrence of heavy metals in a water resource in benjamin constant, Amazonas, Brazil. *Brazilian Journal of Development*, 7(2), 19801-19813. <https://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n2-565>

De Assis, M. W. V., & Dos Santos, T. T. (2020). Propriedades químicas, problemas ambientais e reciclagem de plásticos: uma revisão da literatura. *Jornal Interdisciplinar de Biociências*, 5(1), 31-37. <https://doi.org/10.26694/jibi.v5i1.10610>

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 um grade de polipropileno industrial. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, 7(2), 03-22.

De Jesus Silva, A. J. (2017). *Avaliação do envelhecimento do poli(fluoreto de vinilideno) (PVDF) visando aplicações em estruturas para contato com etanol combustível*. 226 f. Tese de Doutorado (Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ). Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/9546>

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 (III): Revisão de conceitos e estudo de caso. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 11(4), 176-192.

De Jesus Silva, A. J., Noronha, E. F., Lira, N. J. R, De Castro, S. P, & De Sousa, B. M. (2022). Identificação e caracterização de materiais poliméricos descartados indevidamente em um igarapé na região urbana central de Benjamin Constant/AM. *Journal of Education Science and Health*, 2(3), 1–21. <https://doi.org/10.52832/jesh.v2i3.141>

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>

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>

De Oliveira, M. C. B. R. (2012). *Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil*. 91 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ). Disponível em: http://antigo.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/maria_deoliveira.pdf

Do Nascimento, L. D. S., & Alves, L. C. (2020). A reutilização de resíduos sólidos urbanos em uma escola pública no sudoeste da Amazônia. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, 7(2), 117-127.

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.

Lima, C. C. (2012). *Gestão de resíduos plásticos na cidade de Manaus à luz da política nacional de resíduos sólidos: Uma contribuição à implantação de logística reversa*. 201 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Direito Ambiental, Universidade do Estado do Amazonas, UEA). Disponível em: <http://repositorioinstitucional.uea.edu.br/handle/riuea/2064?mode=full>

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

Manrich, S. (2005). *Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes*. (2. ed.). São Paulo: Editora Artliber.

- Matos, T. F. L., & Schalch, V. Composição dos resíduos poliméricos, pós-consumo, gerados no município de São Carlos, SP. *Polímeros*, v. 17, n. 4 p. 346–351, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282007000400016>
- 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*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024679.pdf>
- 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. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2017/trabalhos/13/12010-20632.html>
- 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>