

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL - UERGS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, ÊNFASE EM GESTÃO
AMBIENTAL, MARINHA E COSTEIRA**

GIOVANNA LÖFFLER

***PELLETS* PLÁSTICOS NO SEDIMENTO ARENOSO PRAIAL NO LITORAL DO
RIO GRANDE DO SUL, BRASIL:**

Análise quali-quantitativa e identificação de possíveis fontes

IMBÉ

2022

GIOVANNA LÖFFLER

***PELLETS* PLÁSTICOS NO SEDIMENTO ARENOSO PRAIAL NO LITORAL DO
RIO GRANDE DO SUL, BRASIL:**

Análise quali-quantitativa e identificação de possíveis fontes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, ênfase em Gestão Ambiental, Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, convênio Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Fernandino de Andrade Neto

IMBÉ

2022

Löffler, Giovanna.

Pellets plásticos no sedimento arenoso praias no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil: Análise quali-quantitativa e identificação de possíveis fontes

/ Giovanna Löffler -- 2023

42 f.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Fernandino de Andrade Neto

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Litoral Norte,
Curso de Ciências Biológicas: Gestão Ambiental Marinha e
Costeira, Osório, BR-RS, 2023.

1. Empresas de plástico 2. Bacias Hidrográficas
3. Pellet Pollution Index 4. Microplásticos

I. Fernandino, Gerson II. Título

GIOVANNA LÖFFLER

**PELLETS PLÁSTICOS NO SEDIMENTO ARENOSO PRAIAL NO LITORAL DO
RIO GRANDE DO SUL, BRASIL:**

Análise quali-quantitativa e identificação de possíveis fontes

Monografia apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, ênfase em Gestão Ambiental, Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, convênio Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Fernandino de Andrade Neto

Banca Examinadora

Prof^a Dr^a Juliana Leonel

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Dr^a Carla Isobel Elliff

Universidade de São Paulo – USP

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, a minha mãe e meus irmãos pelo apoio e incentivo durante todo o tempo. Ao restante da minha família e meus amigos que me acompanharam nessa trajetória.

Aos colegas de faculdade que estiveram nessa caminhada e aos voluntários que auxiliaram nas saídas de campos. A minha primeira orientadora da faculdade, Ester, pelo aprendizado e conversas.

Agradeço ao meu orientador, Gerson, por me conduzir no caminho da iniciação científica e do estudo dos microplásticos, também por me incentivar a apresentar trabalhos e crescer academicamente.

As universidades UERGS e UFRGS que me proporcionaram ensino, extensão e a melhor experiência da minha vida, o embarque científico.

A FAPERGS pelo financiamento desse projeto, a UFRGS - PROPESQ pela bolsa de iniciação científica. Aos professores que me ensinaram não somente os conteúdos, mas a crescer como indivíduo e como parte de um coletivo.

“The best scientists and explorers have the attributes of kids. They ask questions and have a sense of wonder. They have curiosity. Who, what, where, why, when, and how!”

Sylvia Earle

RESUMO

O plástico é um problema mundial, impacta o ambiente, o ser humano e a biota. Os microplásticos são classificados como primários (fabricados pela indústria – ex.: *pellet*) e secundários (degradados pelo ambiente - fragmento). Os *pellets* encontrados nos ambientes costeiros podem ter sido transportados por duas fontes: marinha (barcos, ondas e correntes) ou terrestre/continental (rios, esgotos). O objetivo do trabalho foi analisar quali-quantitativamente os *pellets* no sedimento das praias de Imbé, Balneário Mostardense, Balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, e identificar e mapear as empresas e possíveis fontes terrestres dos *pellets*. A amostragem foi realizada em duas campanhas, primavera/verão (C1) e outono/inverno (C2). O material foi coletado em três zonas, Z1 (próximo da linha d'água), Z2 (linha intermediária) e Z3 (próximo de um obstáculo). As amostras foram peneiradas com água e armazenadas. Os *pellets* foram contados e analisados quanto a características externas (cor, formato e tamanho), foi aplicado o Pellet Pollution Index (PPI) com valores entre "0" e ">3", classificando as praias quanto ao grau de poluição por *pellet*, de "muito baixo" a "muito alto". Foi contabilizado um total de 455 empresas de plástico, 15 produtoras (prd) e 440 transformadoras (trf). Estão distribuídas nas bacias do Sinos, Taquari, Caí, Gravataí, Guaíba, Jacuí e São Gonçalo. Foi coletado um total de 218 *pellets* (C1=33; C2=185). Na praia de Imbé 17 *pellets* (C1=2; C2=15), Z1=3, Z2 = 0, Z3=14. No Balneário Mostardense, 93 *pellets* (C1=14; C2=79), Z1=12, Z2 = 2 e Z3=79. No Balneário Hermenegildo, 108 *pellets* (C1=17; C2=91), Z1=2, Z2=1 e Z3=105. As três cores mais encontradas foram incolor, amarelo, branco. As formas mais coletadas foram cilíndrico achatado, esférico achatado, cilíndrico grosso. Os resultados de PPI variaram de muito baixo, a muito alto nas praias, de acordo com a estação e zona praial amostrada. Considerando que as empresas de prd e trf se concentram em bacias hidrográficas que deságuam na Lagoa dos Patos e que aí também está localizado o Porto de Rio Grande, é possível inferir que o *pellet* que chega nas praias gaúchas, em grande medida, se origina dessa região. Devido às correntes litorâneas de inverno para SO, há maior transporte para o Balneário Hermenegildo nessa estação, durante o verão, com correntes de NE, é transportado para o Balneário Mostardense e Imbé.

Palavras-chave: Empresas de plástico; Bacias Hidrográficas; *Pellet Pollution Index*; Microplástico

ABSTRACT

Plastic is a worldwide problem, which affects the environment, humans and the biota. Microplastics are classified as primary (manufactured by the polymer industry - pellet) and secondary (degraded by the environment - fragment). Pellets that are found in coastal environments have been transported by two sources: marine (ships, waves and currents) or land/continental (rivers, sewers). The objective of this study is to analyze qualitatively and quantitatively pellets in beach sediment in Imbé, Balneário Mostardense and Balneário Hermenegildo beaches, identifying and mapping the possible land sources. Sampling was conducted during two campaigns, spring/summer (C1) and autumn/winter (C2). Samples were collected in three zones across the beach, Z1 (near the waterline), Z2 (intermediary beach line), and Z3 (near the obstacle). Pellets were counted and analyzed for external characteristics (color, shape and size), the Pellet Pollution Index (PPI) was applied, ranging between "0" and ">3", and classified according to the degree of pollution, from "very low" to "very high". A total of 455 plastic manufacturers were counted, 15 producers (prd) and 440 processors (prc). They are distributed in the Sinos, Taquarí, Caí, Gravataí, Guaíba, Jacuí and São Gonçalo river basins. A total of 218 *pellets* (C1=33; C2=185) were collected. In Imbé beach, 17 *pellets* (C1=2; C2=15), Z1=3, Z2 = 0 and Z3=14. In Balneário Mostardense beach, 93 *pellets* (C1=14; C2=79), Z1=12, Z2 = 2 and Z3=79. In Balneário Hermenegildo beach, 108 *pellets* (C1=17; C2=91), Z1=2, Z2=1 and Z3=105. Color classification resulted predominantly were translucent pellets, followed by yellow and white. The shapes collected predominantly were flat cylindrical, flat spherical and thick cylindrical. The PPI results ranged from very low to very high on the beaches, changed according to the season and de sampled zone. Considering that the manufacturers of prd and prc are concentrated in hydrographic basins that flow into Lagoa dos Patos and the Port of Rio Grande is also located there, it is possible to infer that pellets that arrive on the beaches of Rio Grande do Sul can be originated from this region. Due to the winter coastal currents to the SW there is greater transport to Balneário Hermenegildo while during the summer, NE currents transports them towards Balneário Mostardense and Imbé.

Keywords: Plastic manufacturers; river basins, Pellet Pollution Index

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização das áreas de estudo com indicação dos pontos amostrais. A- Mapa do Brasil, com o estado do Rio Grande do Sul destacado; B- Mapa do Rio Grande do Sul com os Litorais Norte, Médio e Sul destacados e mostrando os pontos que foram realizadas as coletas (Imbé, Balneário Mostardense, Balneário Hermenegildo).....	6
Figura 2 – Imagem de Satélite do programa Google Earth mostrando o centro do município de Imbé. Retângulo vermelho - ponto amostrado.	8
Figura 3 – Vista para norte da área de amostragem no município de Imbé, dunas frontais vegetadas, escarpadas devido à ressaca dos dias anteriores à coleta, no mês de junho, na campanha 2.	8
Figura 4 - Imagem de Satélite do programa Google Earth mostrando o Balneário Mostardense. Retângulo vermelho - ponto amostrado.....	9
Figura 5- Vista para o norte da área de amostragem no Balneário Mostardense, o local contém dunas frontais vegetadas, há presença de marcas de pneus de carros e motos.	10
Figura 6 - Imagem de Satélite do programa Google Earth mostrando o Balneário Mostardense. Retângulo vermelho - ponto amostrado.....	11
Figura 7 - Vista para o sul da área de amostragem no Balneário Hermenegildo, próximo ao local de coleta há residências estabelecidas e em processo de destruição no local de APP de dunas, a praia é utilizada por moradores, para lazer, através de caminhadas e há circulação de carros e motos.	11
Figura 8 - Esquema da metodologia, sendo o transecto de 100 m o retângulo em vermelho, retângulos pretos os pontos de coleta de pellet. AC= zona de acúmulo; FAC= fora da zona de acúmulo.....	14
Figura 9 – Quadrat de 30 x 30 cm utilizado para demarcar área de amostragem de pellet, é possível observar a areia da praia com matéria orgânica, manchas escuras de mineral pesado, grande quantidade de pellets (flecha vermelha) e fragmentos (flecha verde) de plástico.	14
Figura 10 – Peneira sedimentológica após o processo de peneiramento in situ com água do mar. Contendo matéria orgânica, microplásticos secundários e pellets.	15

Figura 11 – Sete imagens representando as diferentes formas utilizadas para balizar a classificação dos *pellets* analisados. a) retangular, b) cúbico, c) cilíndrico grosso, d) cilíndrico fino, e) cilíndrico achatado, f) esférico achatado, g) ovoide, h) disforme..... 16

Figura 12 - Mapa do estado do Rio Grande do Sul, apresentando as empresas produtoras e transformadoras do estado, as bacias hidrográficas, os principais rios que desaguam na lagoa dos patos e a localização das praias amostradas. Os círculos identificando rios e canais importantes - rosa =rio Jacuí, azul = rio Taquari, verde = rio Caí, amarelo = rio dos Sinos, roxo = rio Gravataí, azul escuro = canal São Gonçalo. 17

Figura 13 – Mapa do estado do RS em destaque as bacias hidrográficas mais próximas das empresas de plástico e que deságuam na Lagoa dos Patos (principal canal para o mar). Os círculos identificando rios e canais importantes - rosa =rio Jacuí, azul = rio Taquari, verde = rio Caí, amarelo = rio dos Sinos, roxo = rio Gravataí, azul escuro = canal São Gonçalo. 19

Figura 14 – Imagens de alguns pellets analisados. A - incolor, B- branco, C - azul, D - amarelo.20

Figura 15 - Gráfico com tabela indicando a quantidade de pellets coletados e suas cores nos pontos de Imbé, Balneário Mostardense e Balneário Hermenegildo.21

Figura 16 - Gráfico contendo os dados das formas de *pellets* mais encontrados nas amostras.....21

Figura 17 - Gráfico e tabela ilustrando o tamanho dos pellets coletados.22

Figura 18 – Mapa do Rio Grande do Sul, com a localidade dos pontos, os dados de pellets coletados e a as correntes. Flecha azul – corrente de inverno (SO), Flecha vermelha – corrente de verão (NE).23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo Geral	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
3 MATERIAL E MÉTODOS	5
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	5
3.1.1 Imbé	7
3.1.2 Mostardas	9
3.1.3 Hermenegildo	10
3.1.4 Hidrografia do Rio Grande do Sul.....	12
3.2 LEVANTAMENTO DE EMPRESAS ESPECIALIZADAS EM PLÁSTICOS.....	13
3.4 COLETA DAS AMOSTRAS.....	13
3.5 ANÁLISE DOS <i>PELLETS</i>	15
4 RESULTADOS	17
4.1 EMPRESAS DE PLÁSTICO E BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO.....	17
4.2 <i>PELLETS</i> PLÁSTICOS.....	20
4 DISCUSSÕES	24
4.1 EMPRESAS DE PLÁSTICO E BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO	24
5.2 <i>PELLETS</i> PLÁSTICOS.....	24
5 CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

O plástico é um problema mundial, está poluindo diversos ambientes (ex.: oceano, rios, lagos, praias) causando impacto para o ser humano, visualmente, economicamente (ex.: gerando gasto com limpezas nos ambientes coletivos), na saúde (ex.: saneamento básico, ingestão) e interagindo com a biota (ex.: através de emaranhamento ou ingestão) (GESAMP, 2019).

De acordo com Lebreton *et al.* (2017) e Meijer *et al.* (2021), chegam no oceano de 0,8 – 2,7 milhões de toneladas de plástico anualmente através dos rios. Segundo os mesmos autores, 67% da poluição do mundo vem de 20 rios na Ásia, enquanto na América do Sul o rio que mais polui é o rio Amazonas. O Brasil está em sétimo lugar, como o mais poluente do mundo (MEIJER *et al.*, 2021).

O plástico pode apresentar diversos tamanhos, nano (< 1 µm), micro (< 5 mm), meso (5 – 25 mm), macro (25 – 1000 mm), mega (> 1 m). Os microplásticos são divididos em duas categorias: primário - plástico fabricado pela indústria em tamanho micro (p.ex. *pellets*, esferas de esfoliantes); e secundário – plásticos degradados através de fatores ambientais, tais como luz solar, atrito com sedimento, ondas (p. ex. fragmentos, filamentos e linhas) (GESAMP, 2019).

Os *pellets* são pequenos grãos (esferas) menores que 5 mm de diâmetro, e podem apresentar formatos variados, como retangulares, cilíndricos, discoides (OGATA *et al.* 2009; TAKADA *et al.*, 2009; TURNER; HOLMES, 2011).

De acordo com Turner; Holmes (2011) os *pellets* encontrados nos ambientes costeiros podem ter sido transportados por duas fontes: marinha (barcos, ondas e correntes superficiais) (IVAR DO SUL *et al.*, 2009) ou terrestre/continental (rios, esgotos e drenagem pluvial) (TURRA *et al.*, 2020).

As empresas de plástico do mundo estão se unindo em um programa chamado *Operation Clean Sweep (OCS)* para discutir e propor estratégias de redução de perda acidental de *pellets* ao longo do ciclo do plástico. A presente pesquisa entra como um alinhamento da tendência mundial para entender o problema e fomentar a discussão no Rio Grande do Sul.

O presente estudo pretendeu compreender o caminho do *pellet* pelo estado do Rio Grande do Sul, desde as indústrias produtoras e transformadoras de plástico, até a sua chegada nas praias estudadas, entendendo principalmente a Lagoa dos Patos,

pois une diversas bacias do estado e posterior desagüe ao oceano. Sabendo que o *pellet* pode ser encontrado nas praias, o trabalho aplicará o *Pellet Pollution Index (PPI)* (Índice de poluição por *pellets*) (FERNANDINO *et al.* 2015), que permite classificar quanto ao grau de contaminação por *pellet*, possibilitando assim a comparação com dados já publicados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Inferir o caminho do *pellet* pelo estado do Rio Grande do Sul (RS), desde as indústrias de plástico, até a sua chegada nas praias estudadas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar e mapear as possíveis fontes dos *pellets* encontrados nos litorais norte, médio e sul do RS.
- b) Analisar quali-quantitativamente os *pellets* encontrados no sedimento arenoso das praias de Imbé (Litoral Norte), Balneário Mostardense (Litoral Médio) e Balneário Hermenegildo (Litoral Sul), Rio Grande do Sul.
- c) Avaliar a distribuição espaço-temporal dos *pellets* no litoral do RS.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O termo “plástico” é definido como polímero sintético (sintetizados de hidrocarbonetos) com propriedades termoplásticas (capazes de serem moldadas quando aquecidas) como Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno (os), Tereftalato de Polietileno (PET) e Policloreto de Vinila (PVC) ou termofixas (não moldáveis) como poliuretano, tintas, e resinas epoxy (GESAMP, 2019; TURRA *et al.*, 2020).

Para a produção de plástico nas fábricas, são realizados diversos processos nas indústrias produtoras e transformadoras. A indústria produtora ou de segunda geração (petroquímicas), produz resinas termoplásticas a partir de gases como o eteno e o propeno (OGATA *et al.* 2009; TURRA *et al.*, 2020). Essas resinas são transformadas e transportadas em forma de *pellet* (microplástico primário) (GESAMP 2015). A indústria transformadora ou de terceira geração, processa as resinas, onde os *pellets* são fundidos em moldes que dão origem a produtos plásticos (TAKADA *et al.*, 2009). Os *pellets* representam uma das maiores partes da resina plástica utilizada como matéria-prima pela indústria do Brasil (TURRA *et al.* 2020).

De acordo com Ogata *et al.* (2009), o material plástico do *pellet* tem afinidade a contaminantes hidrofóbicos, adsorvendo componentes tóxicos como os Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) e elementos traço que estão no ambiente, gerando um grande problema de bioacumulação de componentes tóxicos nos organismos que ingerirem o plástico.

Uma das principais formas de contaminação no ambiente são as perdas de *pellet* em fontes terrestres. A má gestão e o armazenamento incorreto das resinas plásticas dentro das indústrias podem acarretar perdas de *pellet* (OGATA *et al.* 2009; TAKADA *et al.*, 2009). No processo de transporte dessas esférulas para fábricas transformadoras ou para portos com destino a exportação, pode ocorrer perda ou acidentes, fazendo com que o material atinja o ambiente (OGATA *et al.* 2009; TURRA *et al.* 2014, 2020).

Uma vez estando no ambiente, o *pellet* por ser pequeno e leve está sujeito aos fatores ambientais (vento, chuva) e antrópicos (sistema de esgoto, canalizações) (TURRA *et al.* 2014) até corpos d'água (TURRA *et al.*, 2020) podendo ser deslocado

pela bacia hidrográfica até eventualmente chegar no estuário e desaguar no mar (OGATA *et al.* 2009; LEBRETON *et al.* 2017; MEIJER *et al.*, 2021).

Chegando no mar, o *pellet* pode permanecer na coluna d'água, se depositar no sedimento marinho, ser ingerido por animais (GESAMP, 2019) ou ser carregado pelas correntes até a praia (FERNANDINO *et al.* 2015; HIRATA *et al.* 2017; LEBRETON *et al.* 2017). O sedimento arenoso praial serve de espaço de estoque para o *pellet* (TURRA *et al.* 2014) até que ocorra um evento meteoceanográfico de grande intensidade, remobilizando o sistema (CHUBARENKO; STEPANOVA, 2017).

Foi estimado que, em 2015, 407 milhões de toneladas de microplásticos primários entraram na cadeia de produção mundial (GEYER *et al.*, 2017). Ao longo de toda a costa brasileira há a movimentação de resinas plásticas por via portuária, mas a maior movimentação ocorre nos portos da região sul e sudeste (TURRA *et al.*, 2020).

Na desembocadura da Lagoa dos Patos encontra-se a sede do principal complexo portuário do RS, composto de cais comercial de uso público, terminais de uso privativo, terminais arrendados e a área de São José do Norte, tem capacidade para movimentar mais de 50 milhões de toneladas de plástico ao ano. Dentro do complexo, a área da Braskem (refinadora de petróleo destinada para o plástico) movimentou em 2022, 688.000 toneladas de materiais (CARVALHO *et al.*, 2023).

O estado do RS está dividido em regiões hidrográficas, região da Bacia do Guaíba, a Região das Bacias Litorâneas e a Região da Bacia do Rio Uruguai (VERDUM *et al.*, 2012). A Região do Guaíba tem como afluentes os rios Jacuí, Taquari, Sinos, Gravataí e Caí. A região das Bacias Litorâneas é composta pela Bacia do Rio Tramandaí e pela Bacia Sudeste. O sistema lagunar do rio Tramandaí apresenta 115 km de faixa costeira, com 3000 km² de área, seus rios principais são o Maquiné e Três Forquilhas, que desaguam na Lagoa Itapeva e Lagoa dos Quadros (DILTON; ROCHA, 2016). A Bacia Hidrográfica Sudeste que inclui Lagoa dos Patos e da Lagoa Mirim tem superfície de 180.000 km², o principal canal é o de São Gonçalo no sul do estado, apresenta a desembocadura na extremidade norte do estuário da Lagoa dos Patos, e recebe as águas dos rios Jaguarão, Taquari e Cebolati (CALLIARI; TOLDO, 2016). O pico de descarga dos rios para a Lagoa dos Patos ocorre no inverno e início de primavera e os meses menor descargas fluviais são os de verão e outono (SILVA; CALLIARI, 2022). Já olhando para sistemas costeiros e marinhos, as praias arenosas são ambientes altamente dinâmicos influenciados por agentes hidrodinâmicos morfológicos eólicos. Os processos hidrodinâmicos na costa são intensos, ocorrendo

movimentos constantes dos materiais depositados no fundo oceânico (ABSALONSEN; TOLDO, 2007).

A zona costeira do RS é larga e rasa, com 10 a 15 m limites de profundidade, a zona de arrebentação apresenta extensos bancos paralelos à costa (WESCHENFELDER; ZOUAIN, 2002; CALLIARI; TOLDO, 2016). De acordo com Absalonsen e Toldo (2007) as praias do Rio Grande do Sul são influenciadas pelo regime de ventos e massas de ar de alta pressão, tropicais e polares, são representadas pelo Anticiclone Tropical Semifixo do Atlântico Sul (ATAS) e o Anticiclone Polar Migratório (APM). A alternância dos dois sistemas favorece a predominância de ventos do quadrante Nordeste (NE) os meses setembro a março e de abril a agosto a influência dos ventos de Sudoeste (SO). As ondas geradas de Sul, provocam ressaca intensas na praia exposta (CALLIARI; TOLDO, 2016). Os fortes ventos no verão de NE geram dominância de ondulações no mesmo sentido na costa, exceto nas passagens de frentes frias de Sul (S) e Sudeste (SE) que inverte, as ondas oceânicas são caracterizadas por média a alta energia com altura significativa de 1,5 m e período de 7–9 s (CALLIARI; TOLDO, 2016). O transporte de sedimentos litorâneos é bidirecional tanto do SO quanto do NE, com direção alternada ocorrendo na maioria dos setores. No entanto, o transporte líquido de sedimentos é predominantemente para NE devido ao maior fluxo de energia das ondas associado à passagem de frentes frias (CALLIARI; TOLDO, 2016). Na Lagoa dos Patos os maiores sistemas de vento são NE e SO. Em períodos de vento NE a água do estuário é direcionada para a plataforma continental e quando ocorre vento SO impulsiona a entrada de água salgada para o interior (SILVA; CALLIARI, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

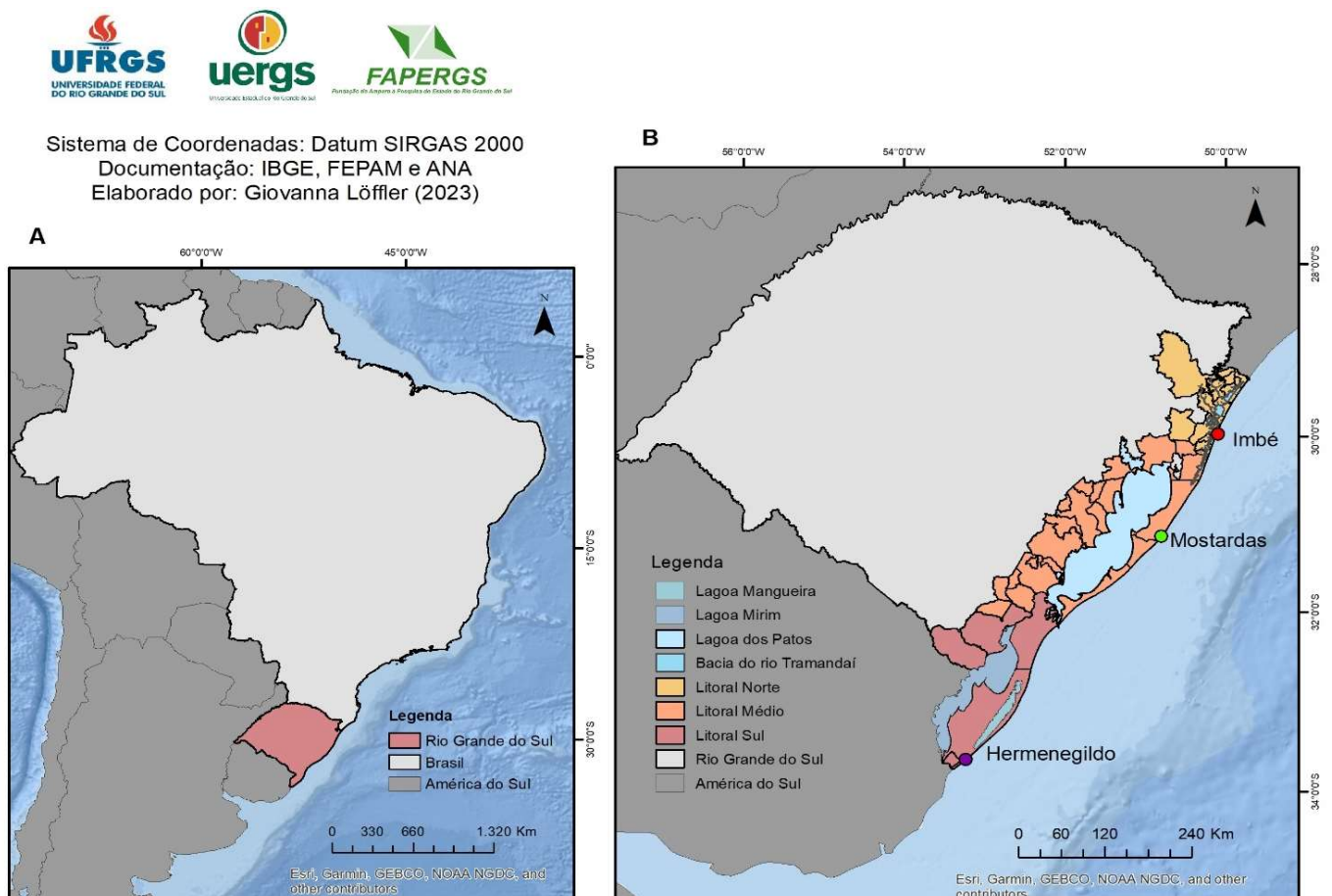
3.1 ÁREA DE ESTUDO

O litoral do Rio Grande do Sul (RS) tem 615 km de extensão, da fronteira com o Uruguai até o estado de Santa Catarina, por isso é dividido em três setores (norte, médio e sul). A costa norte tem uma extensão de 120 km da praia de Torres até Dunas Altas em Cidreira, o setor médio com 275 km vai de Dunas Altas até a desembocadura da Lagoa dos Patos e o setor sul com 220 km de extensão estende-se da foz da Lagoa

dos Patos até o Arroio Chuí no Uruguai (ABSALONSEN; TOLDO, 2007; CALLIARI; TOLDO, 2016).

As áreas de estudo são compostas por três praias arenosas do estado do Rio Grande do Sul. Com o intuito de representar a extensão do estado, foram selecionados pontos ao longo de todo o litoral: um ponto no litoral norte (Imbé), um no litoral médio (Balneário Mostardense) e o último no litoral sul (Balneário Hermenegildo) (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização das áreas de estudo com indicação dos pontos amostrais. A- Mapa do Brasil, com o estado do Rio Grande do Sul destacado; B- Mapa do Rio Grande do Sul com os Litorais Norte, Médio e Sul destacados e mostrando os pontos que foram realizados as coletas (Imbé, Balneário Mostardense, Balneário Hermenegildo).



Fonte: Autora (2022).

A costa do Rio Grande do Sul é caracterizada por apresentar sedimentos finos, praias expostas, em estado morfodinâmicos dissipativos e intermediários (DILLENBURG *et al.*, 2004). O RS apresenta uma costa de micromaré, com amplitude média de 0,5 m, sendo o transporte e deposição de sedimento na costa dominado principalmente pela ação das ondas, devido à refração (DILLENBURG *et al.*, 2004). O clima na costa do Rio Grande do Sul é temperado úmido com temperaturas quentes no verão e frias no inverno, a precipitação varia de 1.000 a 1.500 mm uniformemente no ano (DILLENBURG, S. R. *et al.*, 2009).

Com o entendimento do litoral do Rio Grande do Sul, seguem as informações de cada ponto estudado.

3.1.1 Imbé

O município de Imbé (Figura 2 e Figura 3) está localizado no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul. Apresenta uma zona costeira de 15 km de extensão, faz limite ao norte com o município de Osório e ao sul com Tramandaí. Tem uma população estimada em 23.721 pessoas e, nas estações quentes, ocorre um aumento de até 80 % de veranistas (CLAUSSEN, 2013) com densidade de 448,53 hab/km² (IBGE, 2022).

A praia e as dunas de Imbé são compostas por sedimentos de areia fina, com grãos bem arredondados e homogêneos, apresentam estado morfodinâmico dissipativo (WESCHENFELDER, 1996 *apud* WESCHENFELDER; ZOUAIN, 2002). De acordo com Weschenfelder; Zouain (2002) a praia de Imbé apresenta perfil acrescional no verão e do erosivo no inverno, a corrente resultante litorânea é para NE.

Figura 2 – Imagem de Satélite do programa Google Earth mostrando o centro do município de Imbé. Retângulo vermelho - ponto amostrado.



Fonte: Autora (2023)

Figura 3 – Vista para norte da área de amostragem no município de Imbé, dunas frontais vegetadas, escarpadas devido a ressaca dos dias anteriores a coleta, no mês de junho 2022, na campanha 2.



Fonte: Autora (2022)

3.1.2 Mostardas

O município de Mostardas localizado no litoral médio do RS, faz divisa ao norte com o município Palmares do Sul e ao sul com Tavares; apresenta 100 km de zona costeira, com população estimada de 12.888 pessoas, e densidade de 6,11 hab/km² (IBGE, 2022). Mostardas tem três balneários, praia de São Simão, praia da Solidão e o balneário Mostardense (Figura 4). O ponto selecionado (Figura 5) na região média foi o Balneário Mostardense, está localizada próxima de uma unidade de conservação, o Parque Nacional da Lagoa do Peixe. A lagoa contém um canal de comunicação com o mar.

O Balneário Mostardense apresenta sedimento composto por areia fina, quartzosa, comportamento de dissipativo quando analisado durante um curto período de tempo e variações sazonais em um período mais longo (8 anos) (ABSALONSEN; TOLDO, 2007). Os mesmos autores comentam que o maior fluxo de energia é observado no trecho sul da praia, os sedimentos são transportados em suspensão para NE e se depositam onde encontram uma área com menor energia.

Figura 4 - Imagem de Satélite do programa Google Earth mostrando o Balneário Mostardense. Retângulo vermelho - ponto amostrado.



Figura 5- Vista para o norte da área de amostragem no Balneário Mostardense, o local contém dunas frontais vegetadas, há presença de marcas de pneus de carros e motos.



Fonte: Autora (2022)

3.1.3 Hermenegildo

O município de Santa Vitória do Palmar está localizado no extremo sul do Brasil e do estado do Rio Grande do Sul, tem limite norte com o município de Rio Grande e ao sul município de Chuí, com população estimada de 29.298 pessoas, com densidade de 5,91 hab/km² (IBGE, 2022). Tem 140 km de costa, contendo quatro balneários, balneário Alvorada, balneário da Barra do Chuí, balneário das Maravilhas e Balneário Hermenegildo. O Balneário Hermenegildo (Figura 6, Figura 7) foi selecionado para o estudo, localizado a 18 km da cidade, tem 119 km de extensão dos molhes da Barra do Chuí, ao sul, até Rio Grande, ao norte.

O Hermenegildo apresenta um comportamento intermediário e dissipativo, com alta concentração de sedimento bioclástico e minerais pesados (CALLIARI; TOLDO, 2016). É consenso que a praia do Hermenegildo está sob erosão, onde as estruturas de contenção (ex. casas, enrocamentos) do balneário vêm impedindo a migração horizontal da linha de costa em direção ao continente; como a deriva de sedimentos é para o norte, ocorre maior erosão ao sul do Balneário (KOERNER; OLIVEIRA, 2013).

Figura 6 - Imagem de Satélite do programa Google Earth mostrando o Balneário Hermenegildo. Retângulo vermelho - ponto amostrado.



Fonte: Autora (2023)

Figura 7 - Vista para o sul da área de amostragem no Balneário Hermenegildo, próximo ao local de coleta há residências estabelecidas e em processo de destruição no local de Área de Proteção Permanente (APP) de dunas, a praia é utilizada por moradores para lazer, através de caminhadas e há circulação carros e motos.



Fonte: Autora (2022)

3.1.4 Hidrografia do Rio Grande do Sul

A costa do RS apresenta duas descontinuidades, ao sul, no município de Rio Grande, a foz da Lagoa dos Patos e ao norte, entre os municípios de Imbé e Tramandaí, a foz do Rio Tramandaí (ABSALONSEN; TOLDO, 2007; DILLENBURG, *et al.*, 2009).

A Lagoa dos Patos, principal alvo do presente estudo, é o sistema lagunar mais extenso da América do Sul (CALLIARI; TOLDO, 2016). A Lagoa possui 250 km de comprimento e 40 km de largura média, cobre uma área de 10.360 km², pode ser classificada como uma laguna rasa, com profundidade média de 5 m, a topografia do corpo principal apresenta canais naturais e artificiais de 8- 9 m (FERNANDES *et al.*, 2005).

O mesmo autor comenta que o estuário da Lagoa dos Patos ocupa 10% da superfície total da lagoa, com 80% de regiões de bancos, apresenta profundidade que varia de 1 a 5 m, a conexão com o oceano ocorre em uma entrada de 750 m de largura, com o canal de acesso uma média de 15 a 20 m de profundidade. A água salgada pode chegar a entrar até 60 km da boca do estuário, dependendo das condições ambientais.

De acordo com Vaz *et al.* (2006), os dados referentes a descarga fluviais dos principais rios do estado na Lagoa dos Patos são: rio Jacuí – apresenta os maiores valores de descarga no final de outono, inverno e primavera, nos meses de junho a outubro as médias variam de 1081 m³/s (setembro) a 1263 m³/s (julho), nos meses de verão pode varias de 377 m³/s (janeiro) a 403 m³/s (dezembro); rio Taquari – também com maiores fluxos de maio a outubro (outono até primavera), em agosto ocorrem maiores médias (706 m³/s) e as mínimas em maio (575 m³/s), no verão os valores variam de 307 m³/s (março) a 282 m³/s (dezembro); rio Camaquã – suas vazões variam de 389 m³/s (outubro) a 538 m³/s (julho) e no verão de 146 m³/s (janeiro) a 174 m³/s (fevereiro).

Anualmente, em média, o rio Jacuí (801 m³/s), rio Taquari (452 m³/s) e o rio Camaquã (307 m³/s) somam 1540 m³/s de descarga de água na Lagoa dos Patos. Os rios Jacuí e Taquari contribuem com 85% do volume do rio Guaíba, os demais rios (Sinos, Caí, Gravataí) têm a vazão média de 230 m³/s (HERZ, 1977 apud VAZ *et al.*, 2006). A descarga média anual de água doce na Lagoa dos Patos é 2.400 m³/s.

3.2 LEVANTAMENTO DE EMPRESAS ESPECIALIZADAS EM PLÁSTICOS

Os dados das empresas produtoras e transformadoras de plástico do estado do Rio Grande do Sul, foram coletados nos sites de Sindicatos, são eles Sindicato das Indústrias de Material Plástico no Estado do Rio Grande do Sul (SINPLAST), Sindicato das Indústrias de Material Plástico do Nordeste Gaúcho (SIMPLÁS) e Sindicato das Indústrias de Material Plástico do Vale dos Vinhedos (SIMPLAVI).

Os endereços encontrados foram transformados em pontos de Lat. Long. E plotados em um mapa do ArcMAP 10.5 (ARCGIS). Com os shapefiles das bacias hidrográficas e rios do estado foram coletados na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA – www.ana.gov.br) e com os shapefiles de lagoas e limites de estado da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM – www.fepam.rs.gov.br). Com esses dados foi visualizado os locais de maior concentração de empresas podendo inferir o possível caminho do *pellet* plástico, indo das indústrias, através das bacias hidrográficas, desaguando nas lagoas e até, eventualmente, atingir as praias estudadas.

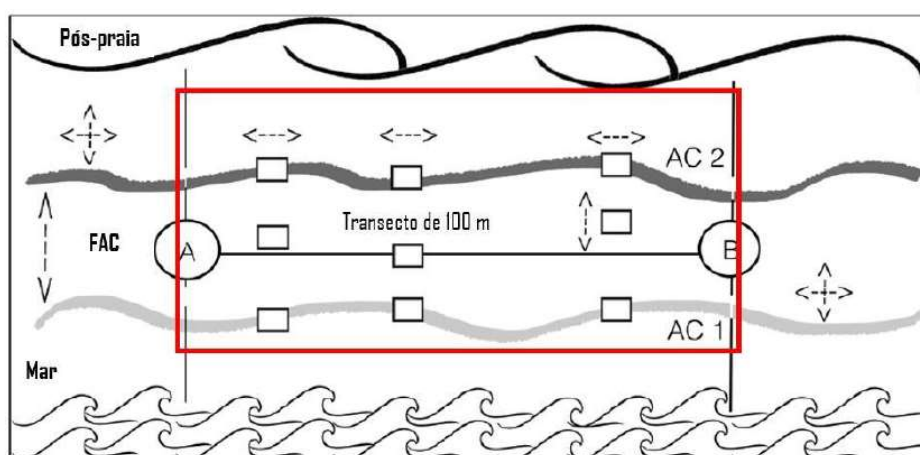
Um local muito importante para o transporte de *pellets* são os portos, no RS o maior porto é o de Rio Grande, está localizado no interior da lagoa dos Patos, próximo ao estuário, seu acesso marítimo se dá pelos Molhes da Barra do Rio Grande (CARVALHO *et al.* 2023).

3.4 COLETA DAS AMOSTRAS

As coletas foram realizadas no contexto do projeto FAPERGS PqG Nº 19/2551-0001804-5 – Edital PqG 05/2019, intitulado “Antropoquinas: investigação sobre a ocorrência e formação de rochas sedimentares recentes com a presença de material antropogênico ao longo do litoral gaúcho”. Foram realizadas duas campanhas (C1 e C2) representando, respectivamente, as estações primavera/verão e outono/inverno. As saídas aconteceram no período de janeiro de 2022 até julho de 2022, em julho dias antes das coletas ocorreu um evento extremo de ciclone na costa do RS modificando e dinamizando mais o sistema. Em cada praia foi selecionado um ponto representativo, referente às características do local (praia turística/urbana, periurbana ou rural). Com o auxílio de uma trena foi delimitado um transecto de 100 m de comprimento com a largura variando da linha d’água até um obstáculo (duna, muro

ou calçada). Dentro do transecto foram selecionados nove pontos para a amostragem (Figura 8), três pontos próximos da linha d'água (Z1), três em uma linha intermediária da praia (Z2) e três próximos do obstáculo (Z3). Os pontos foram delimitados por um *quadrat* de PVC de 30 x 30 cm e os 5 cm superficiais de sedimento foram coletados (Figura 9) (FRIAS *et al.*, 2018).

Figura 8 – Esquema da metodologia, sendo o transecto de 100 o retângulo em vermelho, retângulos pretos os pontos de coleta de pellet. AC= zona de acúmulo; FAC= fora da zona de acúmulo.



Fonte: Modificado de FRIAS *et al.* (2018)

Figura 9 – *Quadrat* de 30 x 30 cm utilizado para demarcar área de amostragem de *pellet*, é possível observar a areia da praia com matéria orgânica, manchas escuras de mineral pesado, grande quantidade de *pellets* (flecha vermelha) e fragmentos (flecha verde) de plástico.



Fonte: Autora (2022)

Com o auxílio de uma colher de inox, a areia da praia foi transferida para uma peneira sedimentológica de malha 1 mm, onde foi peneirada *in situ*, com a água do mar (previamente peneirada para evitar contaminação cruzada), em uma bandeja (Figura 10). Todo material retido na peneira (matéria orgânica, microplástico e *pellets*) foi acondicionado em um coador de café de papel nº 103 e armazenado em sacos plásticos de *zip-lock*, devidamente identificados, para serem encaminhadas para análise.

Figura 10 – Peneira sedimentológica após o processo de peneiramento *in situ* com água do mar. Contendo matéria orgânica, microplásticos e *pellets*.



Fonte: Autor (2022)

3.5 ANÁLISE DOS PELLETS

No laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) no Centro de Estudos Costeiros Limnológicos e Marinhos (CECLIMAR), foram feitas as análises do material. Toda a amostra do coador foi lavada com água destilada, transferida para uma placa de Petri e secada na estufa com temperatura de 50 °C. Com o auxílio de um estereomicroscópio e pinça, os *pellets* foram separados manualmente dos demais materiais. Cada *pellet* foi contabilizado e analisado de forma visual quanto às características externas, sendo elas: cor (branco, incolor, amarelo,

marrom, preto, azul, cinza), formato (retangular, cúbico, cilíndrico grosso, cilíndrico fino, cilíndrico achatado, esférico achatado, ovoide, disforme) (Figura 11) (HIRATA *et al.*, 2017) e o tamanho (1 mm, 2 mm, 2,5 mm, 3 mm, 3,5 mm, 4 mm, 4,5 mm e 5 mm) com o auxílio de uma escala milimétrica sob a placa de *Petri*.

Figura 11 – Sete imagens representando as diferentes formas utilizadas para balizar a classificação dos *pellets* analisados. A) retangular, b) cúbico, c) cilíndrico grosso, d) cilíndrico fino, e) cilíndrico achatado, f) esférico achatado, g) ovoide, h) disforme.



Fonte: Modificado de Hirata, *et al.* (2017).

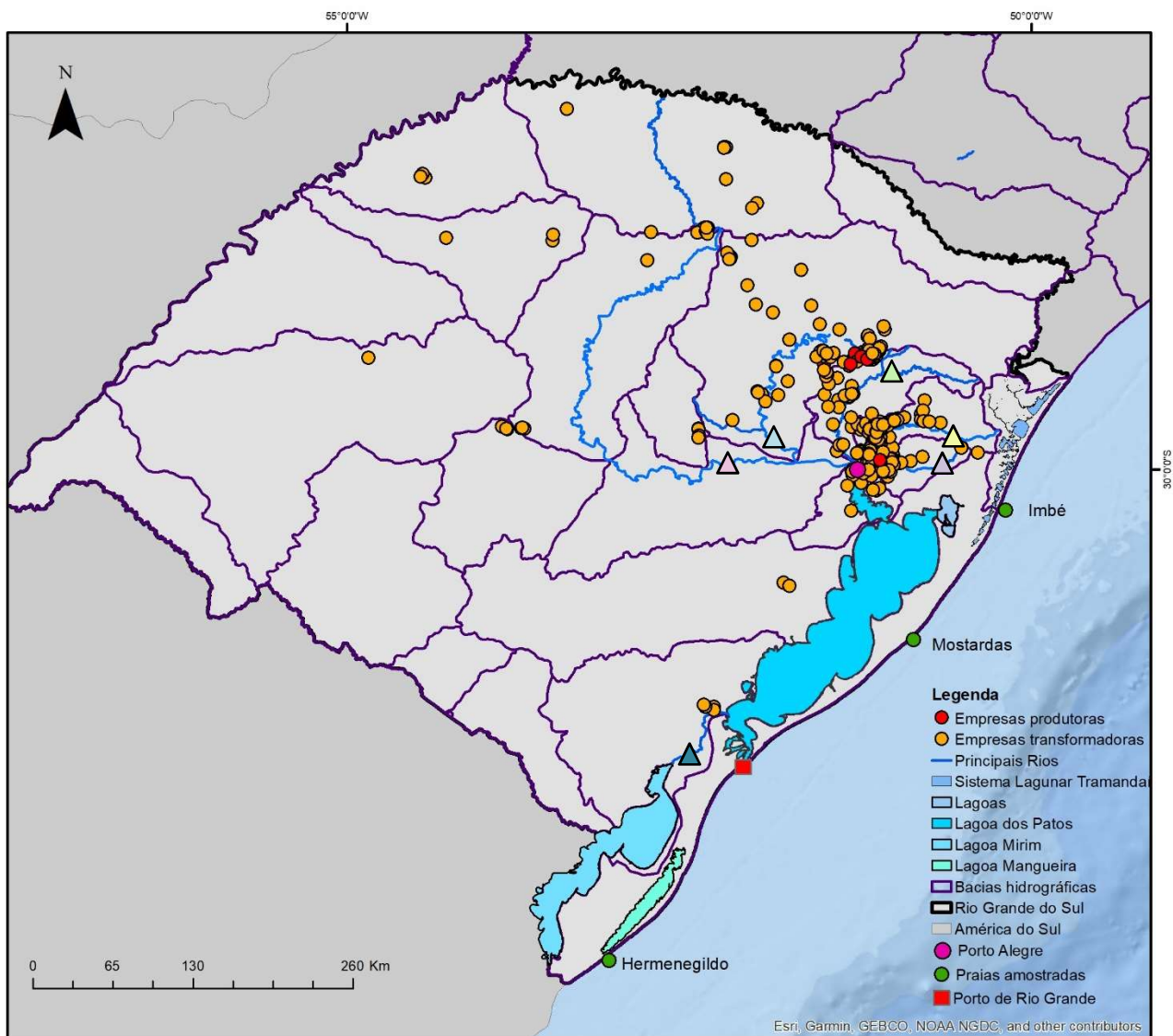
Para analisar a poluição das praias, foi aplicado o *Pellet Pollution Index (PPI)* proposto por Fernandino *et al.* (2015), que corresponde à fórmula $PPI = [n \text{ (itens)} / a \text{ (m}^2)] \times p$, onde “n” modificado do trabalho original, corresponde à média aritmética de *pellets* coletados de cada zona (Z1, Z2, Z3), englobando zona da linha d’água (C1, S1, N1), zona da última linha de deixa (C2, S2, N2) e zona próximo de obstáculo (C3, S3, N3), “a” é a área de sedimento coletado (*quadrat* de 0,09 m²) e “p” o coeficiente de correção = 0,02. O resultado obtido foi comparado com as informações de grau de poluição por *pellet* (de 0 a 3). A faixa $0,0 < PPI = 0,5$ é classificada como muito baixo; $0,5 < PPI = 1,0$ baixo; $1,0 < PPI = 2,0$ moderado; $2,0 < PPI = 3,0$ alto; e $PPI > 3,0$ muito alto.

4 RESULTADOS

4.1 EMPRESAS DE PLÁSTICO E BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO

Foi contabilizado um total de 455 empresas de plástico no estado do Rio Grande do Sul, sendo 15 empresas produtoras (prd.) de plástico e 440 empresas transformadoras (trf.) de plástico (Figura 12).

Figura 12 - Mapa do estado do Rio Grande do Sul, apresentando as empresas produtoras e transformadoras do estado, as bacias hidrográficas, os principais rios que desaguam na Lagoa dos Patos e a localização das praias amostradas. Os triângulos identificando rios e canais importantes - rosa = rio Jacuí, azul = rio Taquari, verde = rio Caí, amarelo = rio dos Sinos, roxo = rio Gravataí, azul escuro = canal São Gonçalo.



Fonte: Autora (2023)

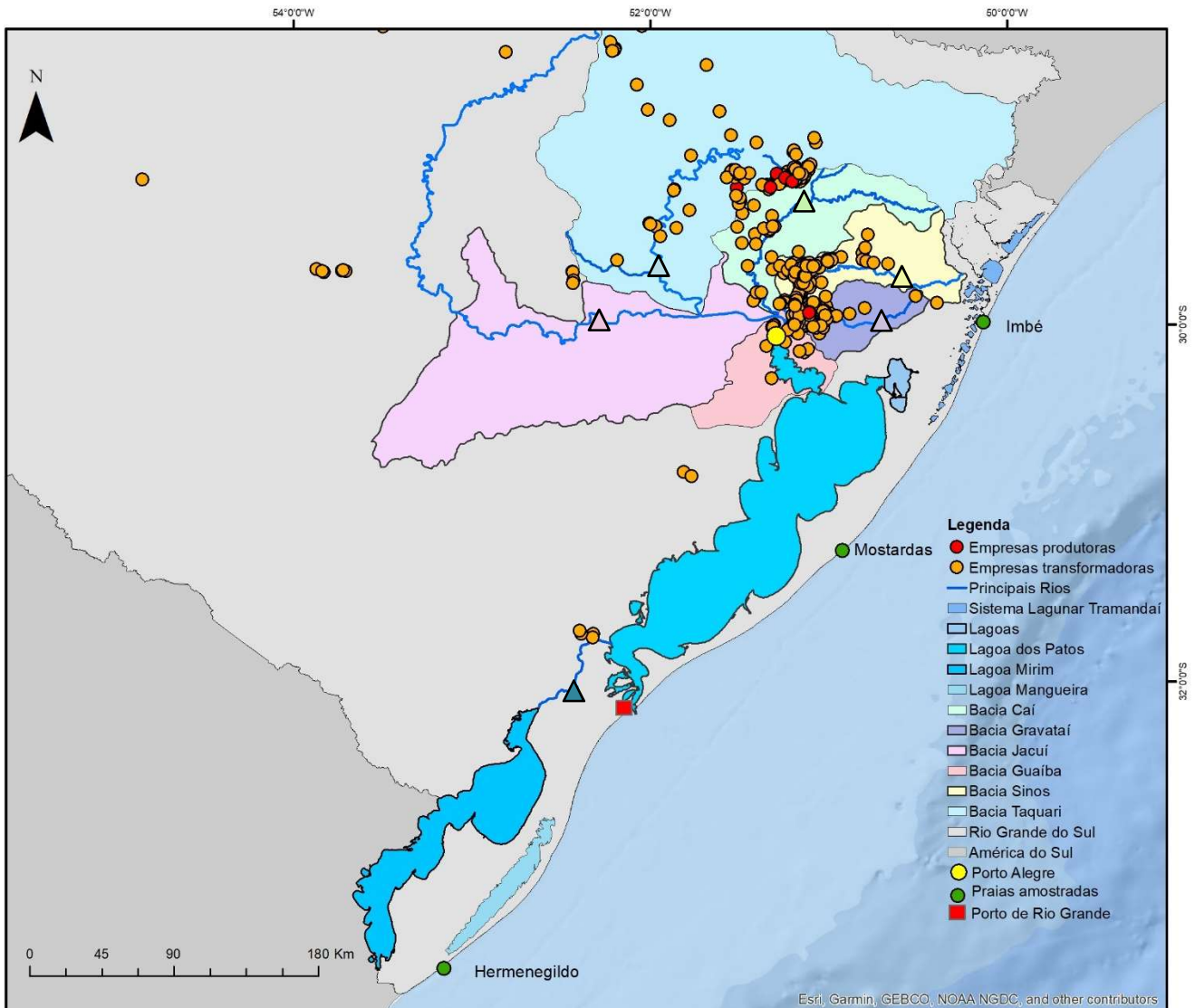
As empresas produtoras são encontradas na mesorregião de nordeste Rio-grandense (n = 8) nos municípios de Farroupilha (n = 4), Caxias do Sul (n = 3) e Garibaldi (n = 1); mesorregião metropolitana de Porto Alegre (n = 5) nos municípios de São Leopoldo (n = 2), Bom Princípio (n = 1), Triunfo (n = 1) e Cachoeirinha (n = 1), mesorregião Centro Oriental Rio-grandense (n = 2) nos municípios de Encantado (n = 1) e Santa Cruz do Sul (n = 1).

As principais empresas transformadoras são encontradas na mesorregião metropolitana de Porto Alegre (n = 245) nos municípios de Novo Hamburgo (n = 70), Porto Alegre (n = 34), São Leopoldo (n = 26), Canoas (n = 20), Cachoeirinha (n = 18), Gravataí (n = 16), Esteio (n = 9), Alvorada (n = 8), Portão (n = 8), Eldorado do Sul (n = 7), Sapiranga (n = 7), Campo Bom (n = 7), Nova Santa Rita (n = 4), Feliz (n = 4), Estância Velha (n = 4), Bom Princípio (n = 3); mesorregião nordeste Rio-grandense (n = 86) nos municípios de Caxias do Sul (n = 59), Passo Fundo (n = 8), Carlos Barbosa (n = 7), Farroupilha (n = 6), Flores da Cunha (n = 4), Bento Gonçalves (n = 2); mesorregião Centro Ocidental Rio-grandense (n = 6) município de Santa Maria (n = 6); mesorregião Noroeste Rio-grandense (n = 11) nos municípios de Marau (n = 5), Erechim (n = 3), Santa Rosa (n = 3); mesorregião Centro Oriental Rio-grandense no município Santa Cruz do Sul (n = 4); mesorregião Sudeste Rio-grandense no município de Pelotas (n = 4).

As empresas produtoras e transformadoras de plástico estão principalmente distribuídas ao longo das bacias hidrográficas do Sinos (prd = 2; trf = 155), Taquarí (prd = 10; trf = 90), Caí (prd = 9; trf = 91), Gravataí (prd = 1; trf = 96), Guaíba (trf = 41), Jacuí (prd = 1; trf = 20), São Gonçalo (trf = 4) (Figura 13).

Os rios e canais mais próximos das empresas e municípios são, rio dos Sinos (São Leopoldo, Novo Hamburgo, Esteio, Sapiranga, Estância Velha, Campo Bom, Portão, Nova Santa Rita, Cachoeirinha Canoas), rio Taquarí (Farroupilha, Garibaldi, Caxias do Sul, Triunfo, Encantado, Santa Cruz do Sul, Flores da Cunha, Bento Gonçalves, Passo Fundo, Carlos Barbosa), rio Caí (Bom Princípio, Caxias do Sul, Farroupilha, Carlos Barbosa, Nova Santa Rita, Feliz, Portão, Triunfo), rio Gravataí (Gravataí, Porto Alegre, Alvorada, Canoas, Cachoeirinha) rio Guaíba (Porto Alegre, Eldorado do Sul) rio Jacuí (Marau, Passo Fundo, Eldorado do Sul, Triunfo) canal São Gonçalo (Pelotas). Como é possível ver no mapa produzido (Figura 13), os rios citados acima deságuam na Lagoa dos Patos.

Figura 13 – Mapa do estado do RS em destaque as bacias hidrográficas mais próximas das empresas de plástico e que deságuam na Lagoa dos Patos (principal canal para o mar). Os triângulos identificando rios e canais importantes - rosa = rio Jacuí, azul = rio Taquari, verde = rio Caí, amarelo = rio dos Sinos, roxo = rio Gravataí, azul escuro = canal São Gonçalo.



Fonte: Autora (2023)

4.2 PELLETS PLÁSTICOS

Foi coletado um total de 218 *pellets*: na campanha primavera/verão (C1) foram coletados 33 *pellets*, e na campanha outono/ inverno (C2) foram coletados 185 *pellets*. Os resultados de pellets coletados em cada praia está na tabela 1.

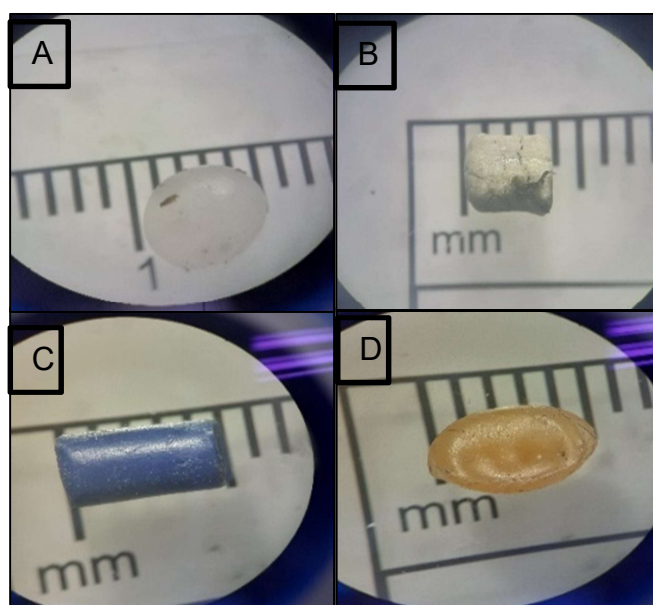
Tabela 1- Apresenta os resultados de *pellets* coletados da C1 (laranja- verão) e C2 (azul – inverno) nas zonas, Z1, Z2 e Z3.

Coletas	Z1/C1	Z2/C1	Z3/C1	Z1/C2	Z2/C2	Z3/C2
Imbé	0	0	2	3	0	12
Balneário Mostardense	0	0	14	12	2	65
Balneário Hermenegildo	2	1	14	0	0	91

Fonte: Autora (2023)

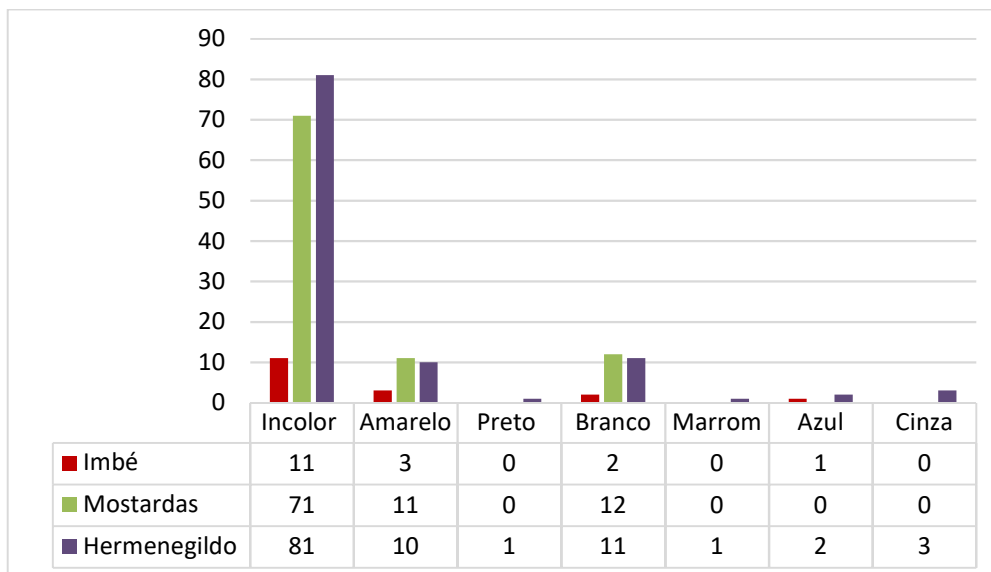
Foram encontrados *pellets* de sete cores diferentes, são elas, incolor (n = 163), amarelo (n = 24), preto (n = 1), branco (n = 25), marrom (n = 1), azul (n = 3) e cinza (n = 3) (Figura 14). O gráfico (Figura 15), há mais detalhes dos dados das análises dos *pellets* coletados.

Figura 14 – Imagens de alguns *pellets* analisados. A - incolor, B- branco, C - azul, D - amarelo.



Fonte: Autora (2023)

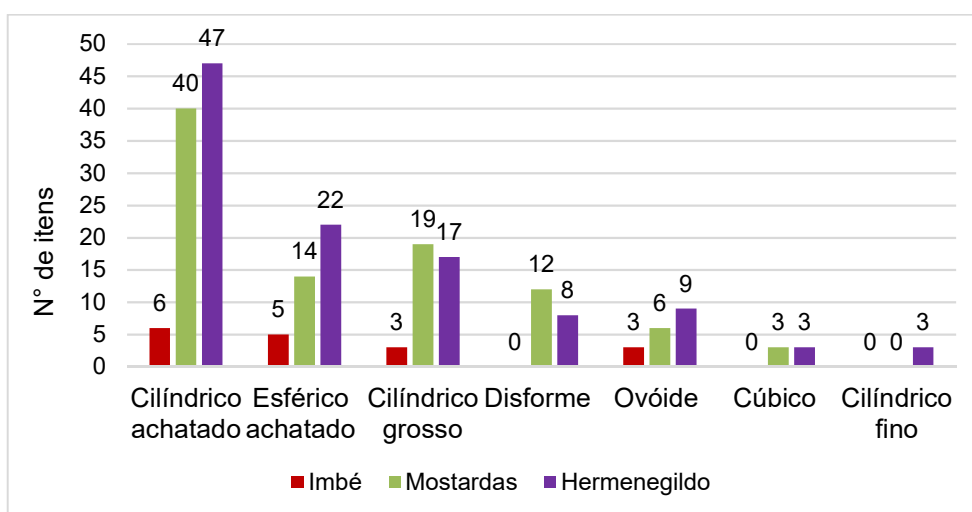
Figura 15 - Gráfico indicando a quantidade de *pellets* coletados e suas cores nos pontos de Imbé, Balneário Mostardense e Balneário Hermenegildo.



Fonte: Autora (2023)

No gráfico (Figura 16) são apresentados os dados com maior detalhe dos municípios das análises das formas dos *pellets* de acordo com Hirata *et al.*, 2017, contendo cilíndrico achatado (n = 93), esférico achatado (n = 41), cilíndrico grosso (n = 39), disformes (n = 20), ovoide (n = 18), cúbico (n = 6), cilíndrico fino (n = 3).

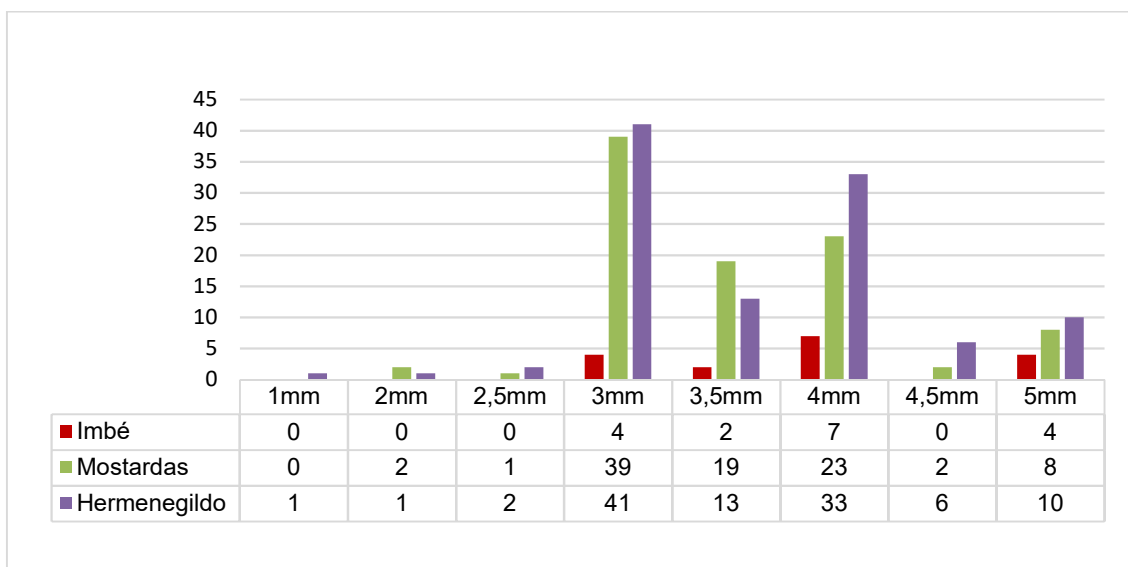
Figura 16 - Gráfico contendo os dados das formas de *pellets* mais encontrados nas amostras.



Fonte: Autora (2023)

No gráfico (Figura 17) é apresentado os dados das análises dos tamanhos dos *pellets*, 3 mm foi o tamanho mais encontrado (n = 84), 4 mm o segundo tamanho mais encontrado (n = 63) e 3,5 mm com (n = 34).

Figura 17 - Gráfico e tabela ilustrando o tamanho dos *pellets* coletados.



Fonte: Autora (2023)

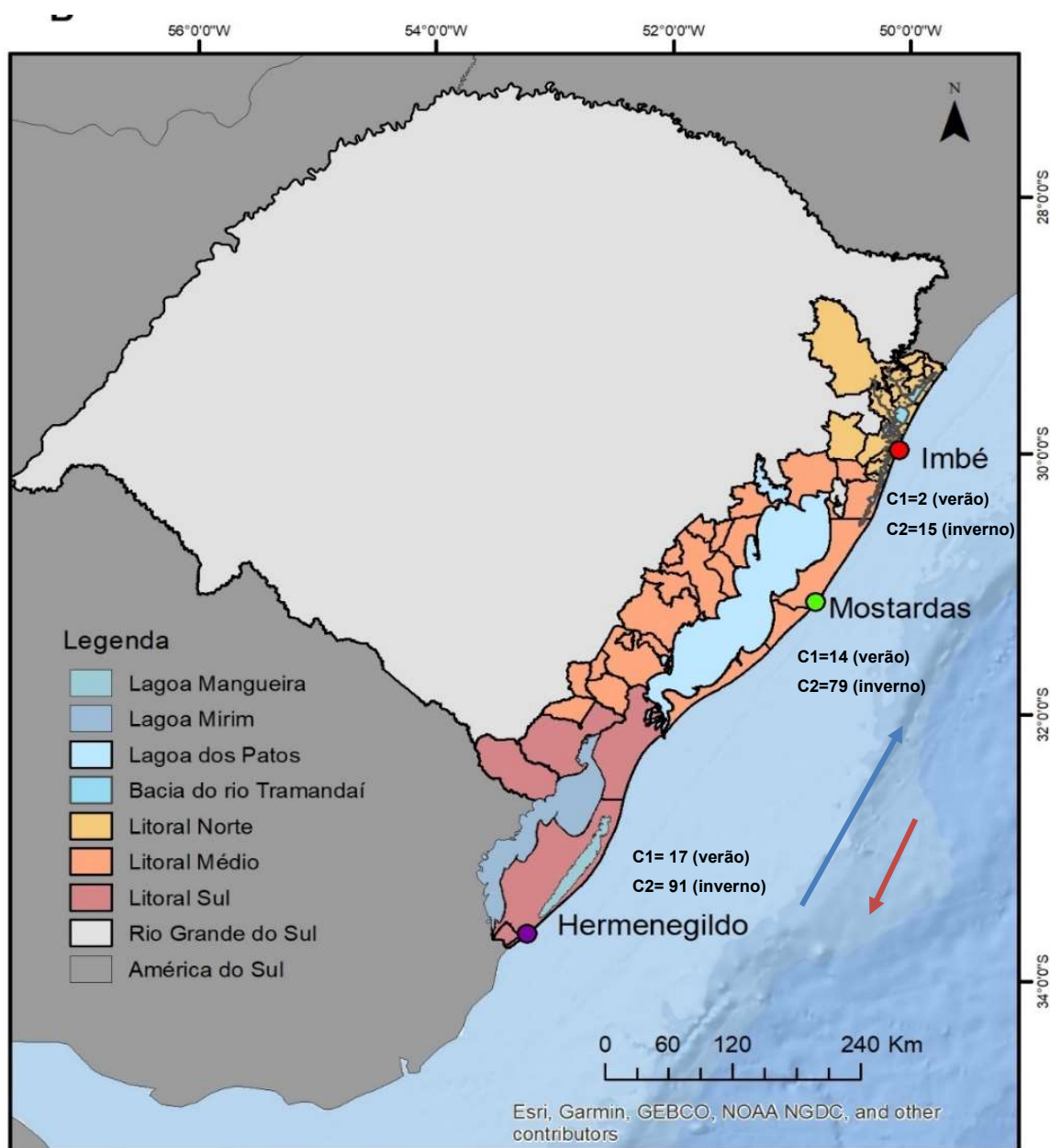
Os resultados de médias para aplicar no *Pellet Pollution Index* (PPI) foram, em Imbé C1 ($Z_1 = 0$; $Z_2 = 0$; $Z_3 = 0,67$), calculando o PPI os resultados foram $PPI_{Z_1} = 0$ (muito baixo), $PPI_{Z_2} = 0$ (muito baixo), $PPI_{Z_3} = 1,48$ (moderado). As médias na C2 ($Z_1 = 1$; $Z_2 = 0$; $Z_3 = 4$), os resultados PPI foram $PPI_{Z_1} = 2,22$ (alto), $PPI_{Z_2} = 0$ (muito baixo), $PPI_{Z_3} = 8,89$ (muito alto).

No Balneário Mostardense os resultados de média na C1 foram $Z_1 = 0$, $Z_2 = 0$, $Z_3 = 4,67$, os resultados do PPI, $PPI_{Z_1} = 0$ (muito baixo), $PPI_{Z_2} = 0$ (muito baixo), $PPI_{Z_3} = 10,37$ (muito alto), a média na C2 ($Z_1 = 4$; $Z_2 = 0,67$; $Z_3 = 21,67$), o PPI resultou $PPI_{Z_1} = 8,8$ (muito alto), $PPI_{Z_2} = 1,48$ (moderado), $PPI_{Z_3} = 48,15$ (muito alto).

No Balneário Hermenegildo os resultados de média da C1 foram $Z_1 = 0$, $Z_2 = 0,33$, $Z_3 = 4,67$. Os resultados do PPI foram $PPI_{Z_1} = 1,48$ (moderado), $PPI_{Z_2} = 0,74$ (baixo), $PPI_{Z_3} = 10,37$ (muito alto). As médias na C2 ($Z_1 = 0$; $Z_2 = 0$; $Z_3 = 30,33$), o resultado do PPI foi $PPI_{Z_1} = 0$ (muito baixo), $PPI_{Z_2} = 0$ (muito baixo), $PPI_{Z_3} = 67,41$ (muito alto).

A Figura 18 mostra a resultante da direção das correntes de verão e inverno, incluindo os dados de esférulas coletadas. Mostrando um gradiente de mais pellets no Balneário Hermenegildo até menores valores em Imbé.

Figura 18 – Mapa do Rio Grande do Sul, com a localidade dos pontos, os dados de *pellets* coletados e a as correntes. Flecha azul – corrente de inverno (SO), Flecha vermelha – corrente de verão (NE).



Fonte: Autora (2023)

4 DISCUSSÕES

4.1 EMPRESAS DE PLÁSTICO E BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO

A região com maior número de empresas produtoras foi o nordeste Rio-grandense, onde há polos industriais na região (CARVALHO *et al.*, 2023). A região com mais empresas transformadoras foi a metropolitana de Porto Alegre, um grande centro urbano de comércio.

Embora a Bacia do Rio dos Sinos tenha apresentado maior quantidade de empresas do estado, apresenta uma das mais baixas média de vazão da região (HERZ, 1977 apud VAZ *et al.*, 2006). Mesmo com vazão baixa da Bacia do rio dos Sinos, é possível o transporte de uma grande quantidade de *pellets* das indústrias mapeadas.

A Bacia do rio Taquari resultou como a segunda bacia com a maior quantidade de empresas no RS, como visto por Vaz *et al.* (2006) é o rio com o segundo maior valor de descarga pluvial para a Lagoa dos Patos, além de contribuir com 85% do volume do rio Guaíba (HERZ, 1977 apud VAZ *et al.*, 2006), é bem possível que seja uma bacia importante para o aporte de *pellets* na Lagoa em direção ao oceano.

As Bacias do Rio Caí e do Gravataí, respectivamente são a terceira e quarta bacia com mais empresas e, assim como o rio dos Sinos, têm vazão média de 230 m³/s.

Como visto nos resultados, se ocorrer perdas de *pellet* nas empresas, eles serão percorridos pelas Bacias do Rio dos Sinos, Taquarí, Caí, Gravataí, Guaíba, Jacuí e São Gonçalo, sendo então transportados na Lagoa dos Patos e sair pelo estuário até o oceano, chegando nas praias. Um possível caminho de contaminação no RS. Há a possibilidade também do litoral do RS ser contaminado com esférulas que venham do Rio da Prata no Uruguai, localizado ao sul do RS.

5.2 PELLETS PLÁSTICOS

A campanha 2 foi coletado maior quantidade de *pellets*, isso pode se dar pelo fato de ter ocorrido um ciclone nos dias antes das coletas, como os autores Fernandino *et al.* (2015), Chubarenko; Stepanova (2017) e Meijer *et al.* (2021) descrevem que eventos meteoceanográficos extremos provocam a exumação de

pellets enterrados no sedimento marinho, ou o ressurgimento deles nas dunas escavadas (TURRA *et al.*, 2014). A Lagoa dos Patos apresenta o pico de descarga ao mar durante o período de inverno (VAZ *et al.* 2006)

A praia de Imbé com a menor quantidade de *pellets* coletados. É o ponto mais distante da Lagoa dos Patos e do porto de Rio Grande (COSTA; OLIVEIRA *et al.*, 2019), nesse local pode chegar as esférulas através de eventos extremos (ALVES *et al.*, 2018), vir de fontes marinhas (IVAR DO SUL, *et al.*, 2009) ou outras fontes mais distantes localizadas à norte desse local. O Balneário Mostardense com resultados intermediários, pode se dar pela proximidade com a Lagoa dos Patos, em comparação com Imbé e por estar passando por processo erosivo (SIMÕES *et al.*, 2022). Devido à baixa densidade do *pellet* e eventos meteoceanográficos, essas esférulas podem ser transportadas por longas distâncias do seu local de origem (CHUBARENKO; STEPANOVA, 2017; COSTA; OLIVEIRA, 2019). O Balneário Hermenegildo com a maior quantidade de *pellets*, pode se dar pelo fenômeno descrito por Turra *et al.* (2014), onde a praia serve como um local de estoque de esférulas, onde permanecem soterrados na praia e dunas até que ocorra uma intensa erosão (DILLENBURG *et al.*, 2004; KOERNER; OLIVEIRA, 2013) e os *pellets* ressurgem na praia. Pode estar associada também com a proximidade do Arroio Chuí e do Rio da Prata, ao sul, que transportaria as esférulas do Uruguai para norte, através da deriva local (KOERNER; OLIVEIRA, 2013).

Como em Costa e Oliveira (2019) foi encontrado maior quantidade de *pellets* incolores nas três praias amostradas (Imbé, Mostardas, Hermenegildo) (figura 11), amarelo (amarelado) e branco foram a segunda e terceira cores mais coletadas. A cor incolor demonstra que os *pellets* encontrados são mais recentes que os demais, por serem fabricados dessa cor (De CARVALHO; NETO, 2016; ALVES *et al.*, 2018).

A cor amarela em *pellets* ocorre como um resultado da oxidação de agentes fenólicos antioxidantes em produtos com estruturas quinoidais causando o amarelamento, é possível que os *pellets* amarelados estiveram no ambiente por mais tempo, podendo adsorver PCBs (TAKADA *et al.*, 2009). As esférulas coloridas apresentam vários pigmentos, as esférulas pretas são compostas principalmente de Poliuretano (PU) (De CARVALHO; NETO, 2016).

Estudos analisando o formato do *pellet* em praias arenosas também identificaram que as maiores quantidades encontradas foram cilíndricos achatados,

esféricos achatados e cilíndricos grossos (HIRATA *et al.*, 2017; ALVES *et al.*, 2018) (Figura 13), corroborando os resultados dos trabalhos atuais com os encontrados.

A faixa de tamanho de *pellet* mais encontrada foi de 3 – 4 mm, no estudo de De Carvalho; Neto (2016) foram encontrados mais pellets de 2 e 5 mm, uma faixa maior que o estudo.

Os maiores valores de PPI foram encontrados durante a C2 (inverno) assim como no estudo de Fernandino *et al.* (2015) no estado da Bahia. Na praia de Imbé durante a C1 (verão), foi visualizado que o PPI obteve mais graus muito baixos (Z1 e Z2) assim como foi visto no estudo de Mugilarasan, *et al.* (2021) nas praias da Índia e nas praias do estado de Santa Catarina (MARIN *et al.*, 2019) e na Bahia (FERNANDINO *et al.*, 2015), já durante a C2 (inverno) o PPI obteve mais graus muito alto (Z1 e Z3).

No Balneário Mostardense durante a C2 (inverno) foi observado mais graus muito alto (Z1 e Z3) e moderado (Z2). As zonas 1 e 3 coincidiram com Imbé, com uma grande quantidade de *pellets* sendo recentemente transportados no inverno e a Z3 sendo uma zona de acúmulo (MOREIRA *et al.*, 2016).

No Balneário Hermenegildo durante a C1 e C2 a zona Z3 resultou em PPI muito alto, como no estudo das praias do Rio de Janeiro de De Carvalho; Neto (2016) o PPI foi muito alto (MARIN *et al.*, 2019). O mesmo estudo fala que o dado elevado da Praia do Galeão se dá pela proximidade com o porto do Rio de Janeiro, o que pode acontecer com os resultados do Balneário Hermenegildo.

Assim como o porto de Santos no estudo de Ribeiro (2020) o porto de Rio Grande tem um grande papel na quantidade de *pellets* que chega até a praia, resultando em PPIs muito alto.

A região sul da desembocadura da Lagoa dos Patos coincide com o porto de Rio Grande, por ser o único porto marítimo do RS é o mais importante do estado (FERNANDES *et al.*, 2005). As regiões industriais e portuárias são provavelmente grandes contribuidores para o aporte de *pellets* nas praias (TURRA *et al.* 2014).

5 CONCLUSÃO

As empresas produtoras e transportadoras concentram-se em Bacias hidrográficas que deságuam na Lagoa dos Patos podendo ser uma fonte de contaminação das praias. O Porto de Rio Grande está localizado da desembocadura da Lagoa, por ser um porto de grande magnitude, pode gerar bastante contaminação.

Dos dados obtidos no estudo, não é possível identificar a quantidade de *pellets* aportados pelas empresas e pelo porto, pois a quantidade encontrada é somada no estuário da Lagoa dos Patos, e transportada pelo litoral através das correntes costeiras.

É possível inferir que o *pellet* que chega na Lagoa dos Patos e posteriormente ao mar, é transportado pelas correntes longitudinais de SO para o Balneário Hermenegildo durante a estação de inverno e no verão é transportado pelas correntes de NE para o Balneário Mostardense e Imbé. Os *pellets* vão se acumulando nas praias e exumados com eventos extremos.

Em conclusão, foi identificado que é necessário realizar futuros estudos realizando coletas na água e no sedimento das Bacias do Rio dos Sinos, Taquari, Caí, Gravataí, Guaíba e Jacuí, nas nascentes, ao longo e na foz, além de coletas na Lagoa dos Patos, para contabilizar e analisar os *pellets* encontrados e identificar com maior precisão as fontes terrestres das esférulas. Seria importante também estudos que envolvam o Porto de Rio Grande, contabilizando o transporte de *pellets*, verificar as formas de armazenamento, identificar possíveis lacunas na logística, fazendo uma grande diferença na gestão correta e transporte do material, prevenindo o escape para o ambiente. Por fim, recomenda-se estudos na região Sul que incluam o Rio da Prata, para entender a possível contribuição da contaminação de *pellets* na região.

REFERÊNCIAS

- ABSALONSEN, L.; TOLDO Jr, E. E. A influência da inflexão Costeira na variabilidade da linha de praia e Mostardas – RS. **Revista pesquisas Geociências**, 34 (1): 3-18. 2007. ISSN 1807- 9806.
- ALVES, F. A.; VIANA, E.; UENO, H. M.; SIMÕES, A. F.; FILHO, H. F. Caracterização de *pellets* plásticos em praias do litoral norte do estado de são Paulo. **Revista gestão e sustentabilidade ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 1, p. 300-314. jan/mar, 2018.
- ARCGIS. ArcGIS: Software. Disponível em <
<http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>>.
- CALLIARI, L. J.; TOLDO Jr., E. E. Ocean Beaches of Rio Grande do Sul. In: Short, A., Klein, A. (eds) **Brazilian Beach Systems**. Coastal Research Library, vol 17. Springer, Cham, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30394-9_18.
- CHUBARENKO, I.; STEPANOVA, N. Microplastics in sea coastal zone: Lessons learned from the Baltic amber. **Environmental Pollution** 224 p.243-254. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.085>.
- De CARVALHO, D. G.; Neto, J. A. B. Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. *Ocean e Coastal Management*, vol 128, p. 10-17, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.04.009>
- DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J.; ZOUAIN, R.N. A., HESP, P.A., CLEROT, L.C.P. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Lecture Notes in Earth Sciences, vol 107. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9_3.
- DILLENBURG, S. R.; ESTEVES, L. S.; TOMAZELLI, L. J. A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 76(3): 611-623. 2004.
- CARVALHO, L.; RIBEIRO, A.; ROLDÃO, L.; ESTIMA, F.; AGUIAR, R. Guia do sistema hidroportuário do estado do Rio Grande do Sul. Publicação Portos RS - Autoridade Portuária dos Portos do Rio Grande do Sul. p. 112, 2023 (Série Texto Técnico).
- CASTRO, D. de; ROCHA, C. M. da. Qualidade das águas na bacia hidrográfica do rio Tramandaí. Porto Alegre: Via Sapiens p.172, 2016. ISBN 978-85-61941-12-3.
- CLAUSSEN, M. R. S. O processo de urbanização do município de Imbé, RS: dinâmicas socioespacial e socioambiental. Trabalho de conclusão de curso. Porto Alegre, UFRGS, 2013.

COSTA, L. M.; OLIVEIRA, E. C. de. O plástico nas praias da ilha de São Vicente, Brasil: da carência social ao registro sedimentar saindo da zona de conforto a Interdisciplinaridade das Zonas Costeiras - Tomo VIII da **Rede BRASPOR**, 2019.

EMPRESAS DE PLÁSTICO 1. Retirado de SIMPLAS. 2023. Disponível em <<https://www.simplas.com.br/simplas/empresas-simplas>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2023.

EMPRESAS DE PLÁSTICO 2. Retirado de SIMPLAVI. 2023. Disponível em <<https://www.simplavi.com.br/associados>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2023.

EMPRESAS DE PLÁSTICO 3. Retirado de SIMPLAST. 2023. Disponível em <<http://sinplast.org.br/>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2023.

ESTEVES, L. S.; DILLENBURG, S. R.; TOLDO Jr., E. E., 2006. Alongshore patterns of shoreline movements in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 39, 215 - 219. Itajaí, SC, Brazil, ISSN 0749-0208.

FERNANDES, E. H. L.; CECÍLIO, R. O.; SCHILLER, F. V. Estudo da influência da alteração dos molhes da barra de Rio Grande sobre a circulação do estuário. **Vetor**, Rio Grande, 15(2): 49-57, 2005.

FERNANDINO, G.; ELLIFF, C. I.; SILVA, I. R.; BITTENCOURT, A. C.S.P. How many pellets are too many? The pellet pollution index as a tool to assess beach pollution by plastic resin pellets in Salvador, Bahia, Brazil. **Revista de Gestão Costeira Integrada** - Journal of Integrated Coastal Zone Management, v. 15, n. 3, p.325-332, set. 2015.

FRIAS, J. P.; PAGTER, E.; NASH, R.; O'CONNOR, I.; CARRETERO, O.; FILGUEIRAS, A.; VIÑAS, L.; GAGO, J.; ANTUNES, J.; BESSA, F.; SOBRAL, P.; GORUPPI, A.; TIRELLI, V.; PEDROTTI, M. L.; SUARIA, G.; ALIANI, S.; LOPES, C.; RAIMUNDO, J.; CAETANO, M.; PALAZZO, L.; DE LUCIA, G. A.; CAMEDDA, A.; MUNIATEGUI, S.; GRUEIRO, G.; FERNANDEZ, V.; ANDRADE, J.; DRIS, R.; LAFORSCH, C.; SCHOLZ-BÖTTCHER, B. M.; GERDTS, G. Standardised protocol for monitoring microplastics in sediments. **JPI-Oceans BASEMAN Project**, p.33, mai. 2018.

GESAMP. **Guidelines or the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean.** (KERSHAW, P.J.; TURRA, A.; GALGANI, F. (Edit.)) (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP n. 99, 130p. 2019. (Série Texto Técnico).

GESAMP. **Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment.** (Kershaw, P. J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p. 2015. (Série Texto Técnico).

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*. Vol. 3, 2017. DOI: 10.1126/sciadv.1700782.

HIRATA, G.; VIANA, E.; FILHO, H. F.; UENO, H. M.; SIMÕES, A. F. Caracterização de pellets plásticos na Praia do Tombo, município do Guarujá, SP, Brasil. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 07, n. 02, p. 202 - 216, jul-dez 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. - Censo demográfico – Imbé, Mostardas, Santa Vitória do Palmar. (2022).

IVAR DO SUL, J. A.; SPENGLER, A.; COSTA, M. F. Here, there and everywhere: Small plastic fragments and pellets on beaches of Fernando de Noronha (Equatorial Western Atlantic). **Marine Pollution Bulletin**, 58(8):1236–1238, 2009. DOI 10.1016/j.marpolbul.2009.05.004.

KOERNER, K. F.; OLIVEIRA, U. R. Efeito de estruturas de contenção à erosão costeira sobre a linha de costa: Balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 13(4):457-471, 2013.

LEBRETON, L. C. M.; VAN DER ZWET, J.; DAMSTEEG, J.-W.; SLAT, B.; ANDRADY, A.; REISSER, J. River plastic emissions to the world's oceans. **Nature communications** 8:15611 Published 7, jun/ 2017. DOI: 10.1038/ncomms15611.

MARIN, C. B.; NIERO, H.; ZINNKE, I.; PELLIZZETTI, M. A.; SANTOS, P. H.; RUDOLF, A. C.; BELTRÃO, M.; WALTRICK, D. de S.; POLETTE, M. Marine debris and pollution indexes on the beaches of Santa Catarina State, Brazil. **Regional Studies in Marine Science** 31, 100771. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100771>.

MOREIRA, F. T.; SILVA, D. B.; BARBOSA, L.; TURRA, A. Revealing accumulation zones of plastic pellets in sandy beaches. **Environmental Pollution**, Vol. 218, p. 313-321, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.006>

MUGILARASAN, M.; KARTHIK, R.; PURVAJA, R.; ROBIN, R. S.; SUBBAREDDY, B.; HARIHARAN, G.; ROHAN, S.; JINOJ, T. P. S.; ANANDAVELU, I.; PUGALENTI, P.; RAMESH, R. Spatiotemporal variations in anthropogenic marine litter pollution along the northeast beaches of India. **Environmental Pollution** 280, 2021.

OGATA, Y.; TAKADA, H.; MIZUKAWA, K.; HIRAI, H.; IWASA, S.; ENDO, S.; MATO, Y.; SAHA, M.; OKUDA, K.; NAKASHIMA, A.; MURAKAMI, M.; ZURCHER, N.; BOOYATUMANONDO, R.; ZAKARIA, M. P.; DUNG, L. Q.; GORDON, M.; MIGUEZ, C.; SUZUKI, S.; MOORE, C.; KARAPANAGIOTI, H.K.; WEERTS, S.; MCCLURG, T.; BURREN, E.; SMITH, W.; VELKENBURG, M. V.; LANG, J. S.; LANG, R. C.; LAURSEN, D.; DANNER, B.; STEWARDSON, N.; THOMPSON, R. C. International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. **Marine Pollution Bulletin** 58 (2009) 1437–1446, 2009.

OSPAR. **Background document on pre-production Plastic Pellets**. França e Alemanha: OSPAR Commission, 2018. 33p. (Série Texto Técnico).

RIBEIRO, V. V. Índice de Poluição por Pellets (IPP) na Baía de Santos (SP) no inverno de 2019. **Rev. Sítio Novo Palmas** v. 4 n. 2 p. 102-111 abr./jun. 2020. e-ISSN: 2594-7036.

SIMÕES, R. S.; CALLIARI, L. J.; FIGUEIREDO, S. A. DE; OLIVEIRA, U. R. DE; MELO, L. P. Coastline dynamics in the extreme south of Brazil and their socio-environmental impacts. **Ocean & Coastal Management**, Volume 230, 1 November 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106373>

TURNER, A.; HOLMES, L. Occurrence, distribution and characteristics of beached plastic production pellets on the island of Malta (central Mediterranean). **Marine Pollution Bulletin** 62 (2011) 377–381, 2011. Doi:10.1016/j.marpolbul.2010.09.027.

TURRA, A.; de SOUZA, B. P.; VEIGA, C.; DENADAI, M. R.; GUIMARÃES, M. do V.; dos SANTOS, M. A.; BAHIENSE NETO, M.; ROLIM, S. P.; FRAGA, S. C. L. (Edit.) **Manual de Implementação do Programa Pellet Zero - Operation Clean Sweep - OCS – Indústria**. São Paulo: Plastivida, 2020. 48 p. (Série Programa Pellet Zero).

TURRA, A.; MANZANO, A. B.; DIAS, R. J. S.; MAHIQUES, M. M.; BARBOSA, L.; SILVA, D. B.; MOREIRA, F. T. Three-dimensional distribution of plastic pellets in sandy beaches: shifting paradigms. **Nature Sci. Rep.** 4, 4435, 2014. DOI:10.1038/srep04435.

VAZ, A. C.; MÖLLER Jr., O. O.; ALMEIDA, T. L. de. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**, Rio Grande, 28(1): 13-23, 2006.

VERDUM, R.; BASSO, L. A.; ANTUNES, D. M. Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação. Editora da UFRGS – 2. ed. – Porto Alegre, 2012.

WESCHENFELDER, J; ZOUAIN, R. N. A. Variabilidade morfodinâmica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 29(1): 3-13. 2002. ISSN 1518-2398.