

Variação espacial da abundância de *pellets* plásticos na praia de Santos, São Paulo, Brasil

Spatial variation of plastic pellet abundance on Santos beach, São Paulo, Brazil

Variación espacial de la abundancia de gránulos de plástico en la playa de Santos, São Paulo, Brasil

Recebido: 09/02/2022 | Revisado: 16/02/2022 | Aceito: 25/02/2022 | Publicado: 07/03/2022

Alexandre Figueira de Pontes Júnio

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9164-3543>

Universidade Santa Cecília, Brasil

E-mail: alexandrefigueirapontesjr@gmail.com

Amanda Aparecida Carminatto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3765-7992>

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

E-mail: amandacarminatto@gmail.com

Roberto Pereira Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5323-9520>

Universidade Santa Cecília

E-mail: roborges@unisanta.br

Resumo

O estudo objetiva determinar a atual distribuição espacial de *pellets* plásticos na praia de Santos, tanto ao longo do eixo longitudinal da praia como ao longo das linhas das marés e avaliar a quantidade da entrada desse material. Para determinar a distribuição espacial de *pellets* plásticos, foram coletados 108 elementos amostrais de área quadrada de 1,0 m de lado retirado do sedimento com 10 cm de profundidade, totalizando 0,1 m³. A amostragem ocorreu no verão de 2020, entre os dias 08/01 a 21/03, e foram coletados 11.979 *pellets*. Relativamente às zonas de praia amostradas, a zona “linha do deixa” apresentou as maiores densidades numéricas nos trechos 9 e 8, com médias de 742,000±237,765 *pellets*/0,1 m³ e 617,333±77,242 *pellets*/0,1 m³, respectivamente. Com relação ao eixo longitudinal da praia, os *pellets* foram encontrados em abundância no trecho 5, situado na região central da praia que é influenciada pela hidrodinâmica e pelas correntes marinhas, onde observou-se a maior densidade numérica na zona seca com média de 188,667±127,563 *pellets*/0,1 m³ e ainda uma média de 584,000±343,167 *pellets*/0,1 m³ na zona “linha do deixa”. Ao analisar a densidade numérica de entrada de *pellets*, o trecho 9 apresentou a maior média na zona “linha do deixa”, que recebe o depósito de material trazido pelas correntes marinhas, próximo à entrada do Porto de Santos onde acontece o transporte ativo destes microplásticos. Os resultados apontam que a zona deposicional de *pellets* ocorra entre os canais 3 e 4 e na Ponta da Praia.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; Deposição praial; Baía de Santos; Pellet; Praia.

Abstract

The study aims to determine the current spatial distribution of plastic pellets on Santos beach, both along the longitudinal axis of the beach and along the tidal lines, and to assess the amount of entry of this material. To determine the spatial distribution of plastic pellets, 108 sample elements were collected with a square area of 1.0 m on side removed from the sediment with a depth of 10 cm, totaling 0.1 m³. Sampling took place in the summer of 2020, from 01/08 to 03/21. 11,979 pellets were collected. Relatively to the sample beach areas, the wrack line zone presented the highest numerical densities in sections 9 and 8, with averages of 742.000±237.765 pellets/0.1 m³ and 617.333±77,242 pellets/0.1 m³, respectively. Regarding the longitudinal axis of the beach, pellets were found in abundance in section 5, located in the central region of the beach, which is influenced by hydrodynamics and marine currents, where the highest numerical density was observed in the dry zone with an average of 188.667±127.563 pellets/0.1 m³ and an average of 584.000±343.167 pellets/0.1 m³ in wrack line zone. When analyzing the numerical density of pellets inlet, section 9 had highest average in wrack line zone, which receives the deposit of material brought by marine currents, near the entrance to the Port of Santos where takes place the active transport of these microplastics. The results indicate that the pellet depositional zone occurs between channels 3 and 4 and at Ponta da Praia.

Keywords: Solid waste; Beach deposition; Santos Bay; Pellet; Beach.

Resumen

El estudio tiene como objetivo determinar la distribución espacial actual de los gránulos de plástico en la playa de Santos, tanto a lo largo del eje longitudinal de la playa como a lo largo de las líneas de marea, y evaluar la cantidad de entrada de este material. Para determinar la distribución espacial de los gránulos plásticos, se recolectaron 108 elementos de muestra con un área cuadrada de 1,0 m en el lado removido del sedimento con una profundidad de 10 cm, totalizando 0,1 m³. El muestreo se realizó en el verano de 2020, del 08/01 al 21/03, y se recolectaron 11.979 gránulos. En relación a las áreas

de playa muestreadas, la zona “línea de señal” presentó las densidades numéricas más altas en las secciones 9 y 8, con promedios de $742,000 \pm 237,765$ pellets / $0,1 \text{ m}^3$ y $617,333 \pm 77,242$ pellets / $0,1 \text{ m}^3$, respectivamente. En cuanto al eje longitudinal de la playa, se encontraron abundantes pellets en el tramo 5, ubicado en la región central de la playa, el cual está influenciado por la hidrodinámica y las corrientes marinas, donde se observó la mayor densidad numérica en la zona seca con un promedio de $188,667 \pm 127,563$ pellets / $0,1 \text{ m}^3$ y un promedio de $584,000 \pm 343,167$ pellets / $0,1 \text{ m}^3$ en la zona de “línea de señal”. Al analizar la densidad numérica de entrada de pellets, el tramo 9 tuvo el promedio más alto en la zona de "línea de señal", que recibe el depósito de material traído por corrientes marinas, cerca de la entrada al Puerto de Santos donde se lleva el transporte activo de estos microplásticos. Los resultados indican que la zona de depósito de pellets se produce entre los canales 3 y 4 y en Ponta da Praia.

Palabras clave: Residuos sólidos; Deposición de playa; Bahía Santos; Gránulos de plástico; Playa.

1. Introdução

A elevada utilização do plástico para as mais diversas finalidades tem dado causa a poluição ambiental não só devido ao descarte irregular, mas também pela perda de *pellets* durante a cadeia de produção. Referidos *pellets* são pequenas partículas em formato de grãos de plástico que se apresentam como a forma mais comum como as resinas plásticas são produzidas e comercializadas, servindo de matéria prima nas indústrias de transformação de plásticos (Manzano, 2009). Em vista da dispersão do microplástico nas águas, verifica-se que possuem potencial de operar como vetores para espécies nocivas e invasoras em novos ambientes (Zhang, 2017).

Relativamente à escala de tamanho, não há consenso sobre um tamanho específico para caracterizar microplásticos, sugerindo-se que sejam partículas menores que 5 mm, sendo que para *pellets* plásticos a referência para diâmetro está entre 1 e 5 mm, tipicamente de 3,5 mm (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012). Dos lançamentos globais de microplásticos primários para os oceanos do mundo, 0,3% se referem a *pellets*, segundo o relatório da IUCN (União Internacional para Conservação da Natureza) sobre a avaliação global de fontes de microplásticos primários nos oceanos (Tagg & Do Sul, 2019). Vários estudos buscaram analisar e quantificar *pellets* plásticos nas praias ao redor do mundo, com diversas metodologias que, segundo Hidalgo-Ruz *et al.* (2012), não se mostravam unificadas.

Porém, a quantidade de estudos referindo-se à poluição por microplásticos e por *pellets* demonstram a importância do tema, o qual é referido desde o início dos anos 1970 (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012). Dentre os estudos, alguns tiveram como objeto praias do Estado de São Paulo e, em particular as praias da Baía de Santos, que guardam relação com o maior porto da América Latina e com o maior polo petroquímico do estado de São Paulo.

O desenvolvimento de vários estudos nas praias da Baía de Santos indica a importância do diagnóstico de poluição por *pellets* na região. Trabalhos como o de Turra *et al.* (2014) destacaram essa questão e abordaram alguns de seus impactos.

Considerando o panorama apresentado, este estudo tem por objetivo determinar a atual distribuição espacial de *pellets* plásticos na praia de Santos, tanto ao longo do eixo longitudinal da praia como ao longo da linha das marés, observando-se a eventual zonação na ocorrência de *pellets* e avaliar quantitativamente a entrada desse material. Para tal, pretende-se:

a) quantificar a ocorrência dos *pellets* ao longo dos trechos da praia situados entre os canais de drenagem da cidade de Santos, paralelamente à linha da água;

b) quantificar a ocorrência dos *pellets* ao longo do perfil perpendicular à linha d'água, de acordo com as zonas: i) zona seca – área onde esporadicamente a maré alcança, ii) zona intermediária – área localizada à meia distância entre a área seca e a área submersa; iii) zona “linha do deixa” – área que sofre a ação deposicional tanto da maré como das ondas, correspondendo ao médio litoral inferior; iv) zona submersa – área junto à linha d'água com ação contínua das ondas;

c) quantificar a entrada de *pellets*, tomando como marcador a zona “linha do deixa”, contabilizando os *pellets* trazidos pelo movimento da água, que inclui ondas e maré;

d) determinar as zonas nas quais ocorrem maior deposição de *pellets* nas praias;

e) determinar diferenças estatisticamente significativas na ocorrência de *pellets* tanto paralela, quanto perpendicularmente à praia;

2. Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende parte da praia da cidade de Santos (23°56'27"S e 45°19'48"W) e integra a Baía de Santos, litoral centro do Estado de São Paulo. A praia na Baía de Santos abrange dois municípios, São Vicente e Santos, numa extensão total de 7320 metros, sendo 1920 metros situados no município de São Vicente e 5400 metros em Santos. A praia de Santos é cortada por 6 canais que se tornam divisas entre os trechos de praia que recebem nomes dos bairros aos quais pertencem. A numeração desses canais se inicia próximo à divisa com o município de São Vicente, e termina junto ao encontro com o canal do Estuário de Santos, entrada e saída para o porto.

2.2 Amostragem

Os procedimentos mais adequados para um levantamento ao longo de uma praia consideraram inicialmente os objetivos estabelecidos e o desenvolvimento do plano amostral mais adequado. Considerando as proposições de Krebs (1999), optou-se por um plano amostral que envolveu amostragem sistemática, a distribuição de elementos amostrais em transecções lineares, bem como amostragem aleatória, no caso a disposição das transecções no campo.

Para determinar a distribuição espacial de *pellets* plásticos na praia de Santos, definiu-se inicialmente o elemento amostral, adotando-se o conceito definido por Scherrer (1983) para essa unidade de amostragem. Dessa forma, se estabeleceu como elemento amostral o volume de 100 litros de sedimento, obtidos a partir da delimitação de um quadrado de 1,0 m de lado e escavação com 0,1m de profundidade. A coleta da amostra ocorreu no verão de 2020, entre os dias 08/01/2020 e 21/03/2020.

Para responder ao objetivo sobre a ocorrência dos *pellets* ao longo da praia (distribuição paralela à linha da água), 9 trechos foram estabelecidos desde o Emissário Submarino (1), proximidades de São Vicente, até o encontro com o Canal do Estuário (9), conforme disposto na figura 1. Os 9 trechos foram determinados principalmente pela existência dos canais de drenagem na faixa de areia, que são elementos referenciais na cidade. Cada trecho de praia possui extensão discriminada no Quadro 1. Considerando que o menor trecho mede 300 metros, foram definidos três transectos de 100 metros para amostragem de cada trecho, perpendiculares à linha da água e dispostos aleatoriamente (Quadro 1).

Figura 1. Trechos amostrados ao longo da praia da Baía de Santos – SP.



Fonte: Autores.

Quadro 1. Divisão da praia em trechos para realização da amostragem.

Trechos	Nome dos trechos da praia	Extensão (m)
Trecho 1 (T1)	Canal 1 (entre Emissário e Canal1)	400
Trecho 2 (T2)	Canal 2 (entre Canal 1 e Canal 2)	635
Trecho 3 (T3)	Av. Ana Costa (entre Canal 2 e Av. Ana Costa)	610
Trecho 4 (T4)	Canal 3 (entre Av. Ana Costa e Canal 3)	400
Trecho 5 (T5)	Av. Cons. Nébias (entre Canal 3 e Av. Cons. Nébias)	520
Trecho 6 (T6)	Canal 4 (entre Av. Cons. Nébias e Canal 4)	300
Trecho 7 (T7)	Canal 5 (entre Canal 4 e Canal 5)	705
Trecho 8 (T8)	Canal 6 (entre Canal 5 e Canal 6)	880
Trecho 9 (T9)	Ponta da Praia (entre Canal 6 e Estuário)	300

Fonte: Autores.

Para responder ao objetivo sobre a ocorrência dos *pellets* perpendicularmente à linha de costa, entre os nove trechos, foram estabelecidas quatro zonas, de acordo com a descrição estabelecida nos objetivos e de forma semelhante ao procedimento adotado por Besley *et al.* (2017), que empregaram a divisão da praia em zonas ao longo da linha das marés e nelas estabeleceram transecções em trecho de 100m.

Os três transectos de 100m de cada trecho, perpendiculares à linha d'água, abrangeram as quatro zonas e os elementos amostrais foram dispostos no ponto médio de cada uma, totalizando 108 elementos em toda a praia.

Os *pellets* foram separados do sedimento através do método de flotação, coletados com peneira de malha 1mm e organizados por ponto de coleta para posterior contagem, caracterização química e morfológica.

Para cada trecho de praia foi calculada a média e desvio das densidades numéricas de *pellets* dos três elementos amostrais de cada zona.

A entrada de *pellets* na praia foi calculada com base na densidade de *pellets*/0,1 m³ coletados na zona "linha do deixa".

Os elementos amostrais da zona “linha do deixa” foram coletados em horário anterior à limpeza diária das praias efetuada pela prefeitura com tratores e caminhões. Dessa forma, puderam ser coletados os *pellets* que foram depositados pelas ondas e pelo movimento da maré durante a noite anterior à coleta.

2.3 Análise estatística

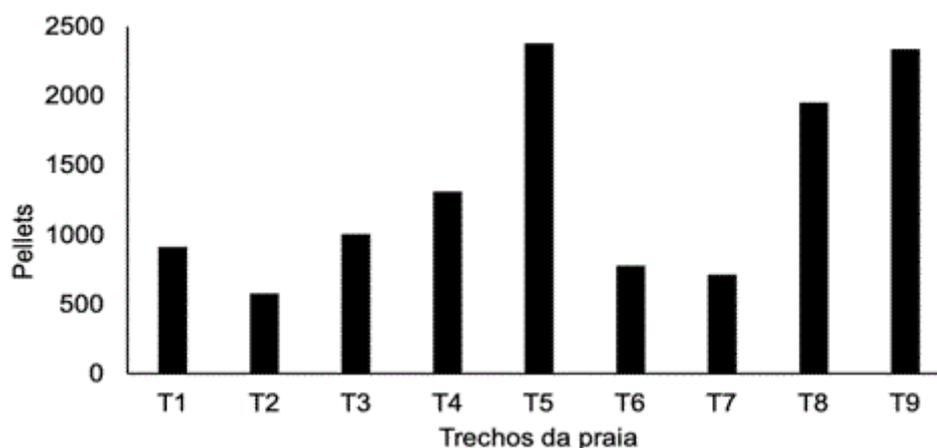
Buscando determinar se houveram diferenças estatisticamente significativas na ocorrência de *pellets* tanto paralelamente, quanto perpendicularmente à linha de costa, se procedeu a análise de variância não-paramétrica. Apesar dos dados serem balanceados, o teste de Shapiro-Wilk não evidenciou normalidade ($p < 0,05$) e o teste de Levene não evidenciou homogeneidade ($p < 0,05$), o que motivou a aplicação do teste de Kruskal-Wallis para os dois fatores em separado: trecho e zona. Ao se detectar diferenças significativas se aplicou o teste de comparação múltipla de Nemenyi (Zar, 2010).

3. Resultados

3.1 Distribuição dos *pellets* ao longo dos trechos da praia - distribuição paralela e perpendicular à linha da água

No total foram coletados 11.979 *pellets* na praia de Santos. Embora para o fator trecho de praia não tenha se evidenciado diferença significativa (qui-quadrado = 2,1769, $p = 0,9751$), verificou-se que o trecho T5 apresentou a maior representatividade (19,86%) seguido por T9 (19,51%) e T8 (16,29%). Os menos representativos foram o T6 (6,53%), T7 (5,96%) e T2 (4,86%) (Figura 2).

Figura 2. Total de *pellets* coletados por trecho da praia de Santos- SP.



Fonte: Autores.

A análise da densidade de *pellets* em cada trecho da praia, considerando as quatro zonas estabelecidas, mostrou que sempre a Zona “Linha do Deixa” apresentou maiores valores, seguida pela Zona Seca e Zona Intermediária, com a Zona Submersa sem *pellets* em quatro trechos (Tabela 1).

Tabela 1. Densidade de *pellets*/0,1m³ e respectivos desvios padrão nas zonas, por trecho de praia.

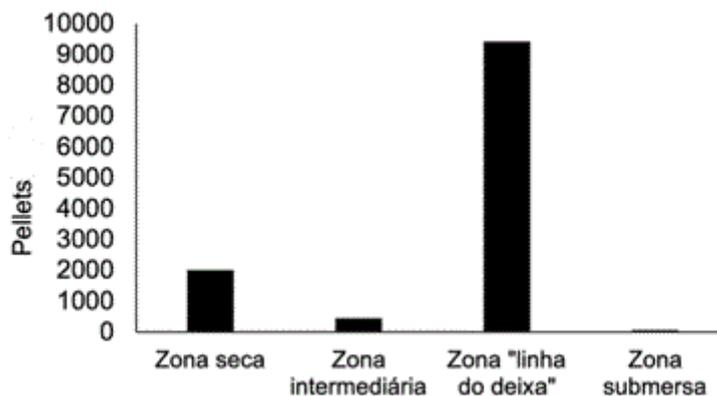
Trecho	Zona Seca	Zona Intermediária	Zona Linha do Deixa	Zona Submersa
T1	92,667±50,798	29,000±23,643	184,000±106,127	0
T2	33,333±19,088	28,667±7,572	132,000±20,785	0
T3	46,333±1,528	29,667±25,325	259,667±150,111	0
T4	147,000±70,449	21,000±7,810	268,333±171,978	0,333±0,577
T5	188,667±127,563	19,667±9,290	584,000±343,167	0,667±0,577
T6	58,333±55,580	20,667±12,060	180,667±43,880	1,000±1,732
T7	59,667±60,050	4,667±3,510	173,000±44,933	0,667±1,155
T8	29,333±9,240	3,667±3,510	617,333±77,242	0
T9	13,667±18,502	2,000±0,0000	742,000±237,765	21,333±15,308

Fonte: Autores.

Ao analisar a abundância de *pellets* por zonas, referente ao conjunto de todos os trechos, a análise inicial de Kruskal-Wallis detectou forte diferença significativa (qui-quadrado = 85,015, graus de liberdade = 3, valor de $p < 2,2e-16$) e o teste de Nemenyi detectou diferenças significativas entre todos os níveis ($p < 0,05$).

Constatou-se que a zona “linha do deixa” apresentou a maior representatividade (9423 *pellets* ou 78,67%) seguida pela zona seca (2007 *pellets* ou 16,75%), zona intermediária (477 *pellets* ou 3,98%) e zona submersa (72 *pellets* ou 0,60%) (Figura 3).

Figura 3. Abundância de *pellets* por zonas na praia de Santos- SP.



Fonte: Autores.

Ao analisar a densidade numérica de *pellets*/ 0,1 m³ da zona seca, constatou-se que a maior média foi observada no trecho T5 e a menor média observada foi no trecho T9 (Tabela 1).

Com relação à zona intermediária, a maior média foi observada no trecho T3, sendo a menor observada no T9 (Tabela 1).

Em relação a zona “linha do deixa”, a maior média foi observada no trecho T9 da praia e a menor no trecho T2 (Tabela 1).

A maior média para a zona submersa foi observada no trecho da praia T9, sendo a menor observada nos trechos T1, T2, T3 e T8 (Tabela 1).

3.2 Entrada dos *pellets* na praia

Ao analisar a entrada de *pellets* considerando a zona “linha do deixa”, embora a análise de Kruskal-Wallis não tenha evidenciado diferença significativa entre os trechos de praia (qui-quadrado = 2,1769, graus de liberdade = 8, valor de $p = 0,9751$), a maior média entre as abundâncias nos elementos amostrais foi observada no trecho T9 - Ponta da Praia ($742,00 \pm 237,765$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$), seguido pelo trecho T8 - Canal 6 ($617,333 \pm 77,242$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$), trecho T5 - Av. Cons. Nébias ($584,00 \pm 343,167$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$), trecho T4 - Canal 3 ($268,333 \pm 171,978$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$), trecho T3 - Av. Ana Costa ($259,667 \pm 150,111$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$), trecho T1 - Canal 1 ($184,00 \pm 106,127$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$), trecho T6 - Canal 4 ($180,667 \pm 43,880$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$), trecho 7 - Canal T5 ($173,00 \pm 44,933$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$) sendo a menor observada no trecho T2 - Canal 2 ($132,00 \pm 20,785$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$) (Tabela 1).

4. Discussão

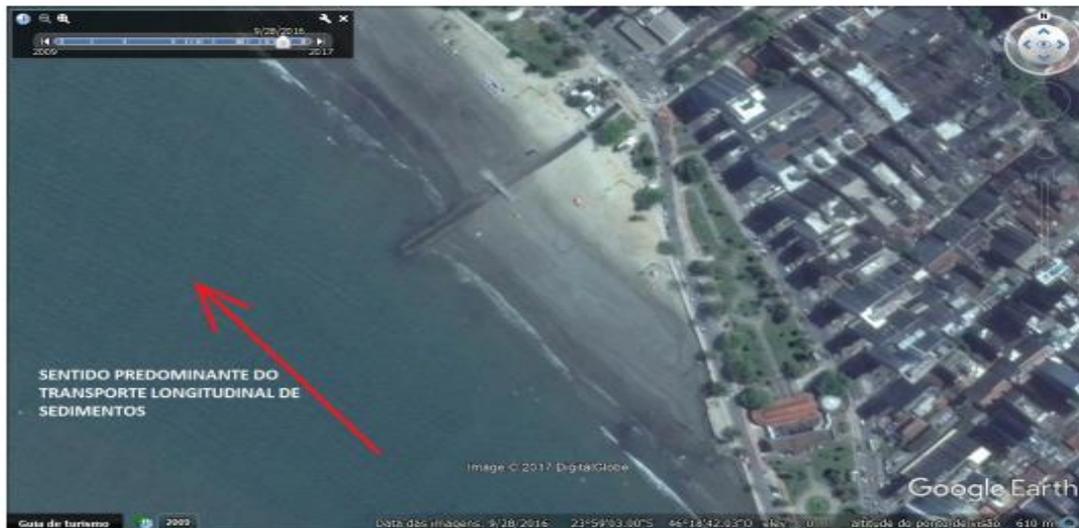
4.1 Distribuição dos *pellets* ao longo dos trechos da praia

Devido a distribuição tridimensional dos *pellets*, considera-se que a amostragem do sedimento seja feita em alguns centímetros ou metros de profundidade. Turra *et al.* (2014) e Fisner *et al.* (2017) propuseram que os *pellets* fossem melhor amostrados até 2 metros de profundidade, devido à limpeza que ocorre nas praias, que pode remover os *pellets* das camadas superficiais ou enterrá-los em camadas mais profundas. Mas assim como Izar *et al.* (2019) os resultados do presente estudo, resultantes de amostras com 10 cm de profundidade, mostraram presença expressiva de *pellets*, assim como aqueles obtidos por McDermid e McMullen (2004), que coletaram amostras com 5,5 cm de profundidade. Manzano (2009) demonstrou em seu trabalho que os estoques permanentes de *pellets* se encontram nas camadas superficiais do sedimento decrescendo à medida em que a profundidade aumenta.

A deposição de *pellets* na praia de Santos foi numericamente maior na Ponta da Praia (trecho T9) e entre os canais 5 e 6 (trecho T8), ambos próximos à entrada do Porto de Santos onde ocorre o transporte ativo dos microplásticos, como destacado por Manzano (2009). No entanto, os *pellets* foram encontrados também em abundância na região central da praia, mais especificamente entre a Av. Ana Costa e Av. Conselheiro Nébias (trechos T4 e T5). Porém, apesar da distância entre o local do estudo e a fonte de poluição do pellet parecer um fator importante para a dispersão, ela também pode ser influenciada por outros fatores, como o vento e as correntes marinhas de superfície, conforme apresentado por Browne *et al.* (2010) para o Reino Unido e Baztan *et al.* (2014) nas Ilhas Canárias.

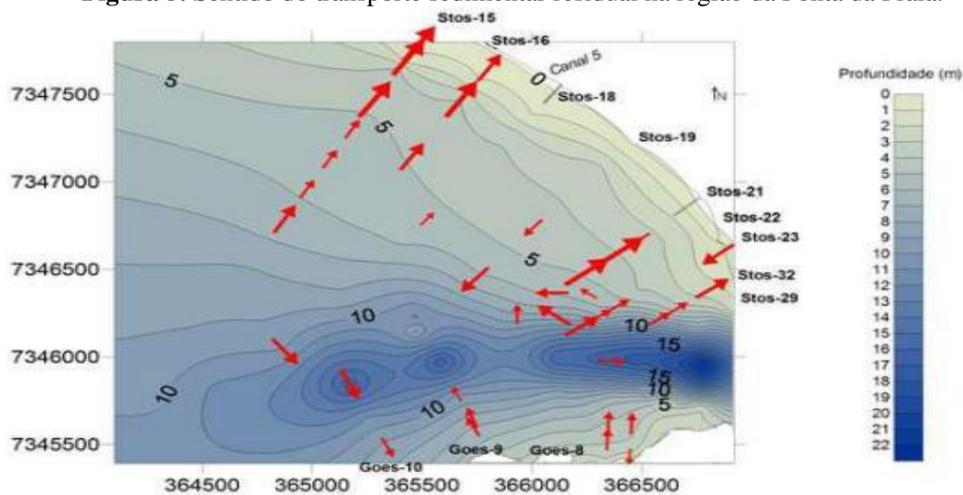
Na Baía de Santos, os ventos predominantes fluem para oeste, e as correntes oceânicas superficiais tendem a fluir no sentido anti-horário (Harari & Gordon, 2001). Desta forma, a abundância de *pellets* na região central da praia de Santos pode ser explicada por conta da hidrodinâmica e as correntes marinhas que influenciam na baía, como apontado por Venancio (2018). As figuras 4 e 5 demonstram as correntes predominantes na Baía de Santos (Venancio, 2018) e o sentido de transporte de material residual (Fundespa, 2014).

Figura 4. Sentido do transporte longitudinal de sedimentos na Ponta da Praia.



Fonte: Venancio (2018).

Figura 5. Sentido do transporte sedimentar residual na região da Ponta da Praia.



Fonte: Fundespa (2014).

Apesar da falta de réplicas temporais, é possível evidenciar esse gradiente e o resultado do presente estudo sugere que a fonte de entrada de *pellets* na praia de Santos seja oriunda do Porto de Santos assim como evidenciado por Manzano (2009), Turra *et al.* (2014) e Izar *et al.* (2019).

De acordo com Fundespa (2012), ainda que tenham ocorrido diversas intervenções e alterações, as praias da Baía de Santos aparentam manter-se em equilíbrio, com baixo risco de erosão costeira. Importante destacar que em Santos, o setor deposicional da praia sempre esteve, pelo menos desde a década de 1960, localizado entre os canais 1 e 3 (T1 a T4), onde se comportou como área de deposição ou de transporte e onde ocorrem as mais importantes zonas de convergência de células de deriva da praia. Os trechos mais erosivos da praia, historicamente sempre estiveram localizados entre o Canal 4 e a Ponta da Praia (T7 a T9), em especial na Ponta da Praia onde predomina o processo erosivo destacado pela elevada ocorrência de zonas de divergência de células de deriva litorânea. Apesar do suposto equilíbrio das praias de Santos, alguns trechos têm sofrido processos erosivos progressivos, resultando numa diminuição da faixa de areia, como tem ocorrido no trecho entre o Canal 4 e a Ponta da Praia, principalmente entre o Canal 6 e a Ponta da Praia (Venancio, 2018). Os resultados do presente estudo apontam

que a zona deposicional tenha se deslocado para a região entre os canais 3 e 4 e a Ponta da Praia (T5 a T9), na qual recebem grande aporte de *pellets* devido à proximidade com o Porto.

O sentido das correntes marítimas predominantes na Baía de Santos e o sentido do transporte sedimentar residual, apresentados nas figuras 4 e 5, explicam a maior quantidade de *pellets* observadas na região central da baía.

Um fator que colabora para a existência de *pellets* em grande número na Ponta da Praia (T9) corresponde à manutenção da praia com a transferência de sedimentos trazidos de locais situados principalmente entre o Canal 2 e o Canal 3 (T3 e T4) e também do desassoreamento dos Canais 1, 2 e 3 (Fundespa, 2012).

A partir do que foi observado por Izar et al. (2019), o porto de Santos é provavelmente a principal fonte de microplásticos no litoral de São Paulo, sendo que as densidades numéricas de *pellets* encontradas nas praias localizadas na Baía de Santos estão entre as maiores do mundo. Isso é reforçado pelos resultados obtidos em outras regiões por Claessens *et al.* (2011) onde áreas próximas aos portos são pontos comuns em abundância de microplásticos em relação a outras regiões litorâneas.

A zona “linha do deixa”, representada pela zona onde ocorre a deposição de material trazido pela movimentação da água, apresentou a maior abundância (9423) de *pellets*. A influência constante da maré e das ondas leva ao acúmulo de material natural ou antropogênico no litoral, como os *pellets* que recentemente se acumularam na praia (Izar *et al.*, 2019).

Ao serem trazidos pelo mar, os microplásticos se depositam primeiramente na zona “linha do deixa”, uma região de caráter transitório, dinâmico e sazonal (Baztan *et al.*, 2014).

Nem todos os microplásticos que estão na zona “linha do deixa” permanecem, pois, uma parte é transportada pelos dos ventos para o supralitoral, onde, no presente estudo, foi observada a segunda maior abundância (2007). Uma vez no supralitoral, devido a influência dos ventos, os microplásticos poderão ser transportados para outras zonas do pós praia ou de volta para a zona “linha do deixa” (Gregory, 2009).

Um estudo realizado em praias do Havaí também corroborou com o resultado do presente estudo, pois McDermid e McMullen (2004) coletaram microplásticos tanto na zona “linha do deixa” quanto na berma e mais de 90% foi encontrado na “linha de deixa”.

Na mesma área do presente trabalho, Manzano (2009) registrou maior abundância nas zonas superiores da praia e explicou que seria devido ao processo de espalhamento durante eventos de tempestade ocorridos ao longo dos anos na área. O autor destacou também que na sequência ocorre um refluxo, que devido a gravidade, a água se movimenta no sentido contrário, em direção ao oceano e remove as partículas no meio do caminho. Esse fato pode explicar a menor abundância de *pellets* nas zonas intermediárias (477) e zonas submersas (72) amostradas no presente levantamento.

Está evidenciado que a variação de concentração de *pellets* em praias do mundo está relacionada a fatores físicos - distância às fontes, forma, fisiografia e orientação da praia. Em relação aos fatores abióticos, os mais importantes são a direção do vento, ondas superficiais e correntes. Turra *et al.* (2014) explicaram a deposição de *pellets* nas praias do litoral de São Paulo por meio dos processos oceanográficos, tais como correntes costeiras, marés e vento.

A interferência humana acaba ocorrendo na distribuição destas partículas no sedimento da praia, como reportado por Carvalho e Neto (2016) podendo também ser citada a sua remoção nas camadas superficiais ou enterro em camadas mais profundas através da limpeza diária da praia, como ocorre em Santos (Moreira *et al.*, 2016).

4.2 Densidade numérica da entrada de *pellets*

Devido as diferentes metodologias de estudo, diferentes características das praias e fatores ambientais que influenciam a deposição e distribuição dos *pellets*, comparar a quantidade de microplásticos encontrados nos trabalhos é complexo (Williams *et al.*, 2005). Existe uma preponderância das energias associadas aos efeitos de maré na circulação da área (Harari & Gordon,

2001). Correntes ao longo da costa transportam o material paralelo à linha costeira, combinadas com as marés cheias, resultando em deposição de resíduos plásticos ao longo das linhas de deixa (Corcoran *et al.*, 2009).

Apesar da complexidade nas comparações, o presente estudo obteve para a zona “linha do deixa” densidades numéricas médias de 742 *pellets*/0,1 m³ na Ponta da Praia (T9) e de 268,333 *pellets*/0,1 m³ para a praia do Gonzaga (T4). Na região da Baía de Santos, Ribeiro (2020) calculou o índice de Poluição por *Pellets* durante o inverno e observou para a zona “linha do deixa” na Ponta da Praia densidade numérica de 178 *pellets*/1,5 m³ que corresponde a 11,87 *pellets*/0,1m³ e para a praia do Gonzaga, 1983 *pellets*/1,5 m³ que corresponde a 132,2 *pellets* /0,1 m³. Tais valores equivalem a uma diferença a maior de 6151% em relação à Ponta da Praia e uma diferença a maior de 102,98% em relação ao Gonzaga.

Manzano (2009) concluiu, em vista da heterogeneidade encontrada nas amostras, que os valores observados não indicavam que houvesse um padrão claro de deposição de *pellets* na linha zona “linha do deixa” ao menos na escala temporal e espacial estudada, corroborando o que observou-se no presente trabalho.

Destaca-se também que, como explicado por Manzano (2009), a estimativa da entrada de *pellets* na praia de Santos pode estar subestimada, pois a cidade apresenta praias altamente utilizadas para práticas esportivas durante todo o ano e ocorrem limpezas diárias nas praias, intensificada nos meses de verão devido à chegada dos turistas, com limpeza mecânica realizada por caminhões e tratores junto à linha d’água, o que acaba soterrando os *pellets*. Também ocorre a limpeza manual com rastelo realizada por funcionários da limpeza urbana, o que permite que *pellets* sejam retirados em meio a outros resíduos. Esses fatores somados dificultam a visualização e posterior coleta do material. Sem contar a falta de réplicas temporais não realizadas durante este estudo e que também influencia na possível subestimativa durante a análise da quantidade da entrada dos *pellets*.

5. Conclusão

- a) A quantificação dos *pellets* paralelamente à linha d’água, para a zona submersa, apresentou, a maior densidade numérica no trecho T9, seguido do trecho T6, trecho T7, trecho T5, trecho T4, trecho T1, trecho T2, trecho T3 e trecho T8.
Para a zona “linha do deixa” a maior densidade numérica ocorreu no trecho T9, seguido do trecho T8, trecho T5, trecho T4, trecho T3, trecho T1, trecho T6, trecho T7 e trecho T2.
Para a zona intermediária a maior densidade numérica ocorreu no trecho T3, seguido do trecho T1, trecho T2, trecho T4, trecho T6, trecho T5, trecho T9, trecho T7 e trecho T8.
Para a zona seca a maior densidade numérica ocorreu no trecho T5, seguido do trecho T4, trecho T1, trecho T7, trecho T6, trecho T3, trecho T2, trecho T8 e trecho T9.
Ressalta-se que nenhum trecho apresentou a maior abundância nas quatro zonas simultaneamente.
- b) A quantificação dos *pellets* perpendicularmente à linha d’água apresentou maior densidade numérica na zona “linha do deixa” com média de $742,000 \pm 237,765$ *pellets*/0,1m³; seguida pela zona seca com média de $188,667 \pm 127,563$ *pellets*/0,1m³; da zona intermediária com média de $29,667 \pm 25,325$ *pellets*/0,1m³ e pela zona submersa com média de $21,333 \pm 15,308$ *pellets*/0,1m³.
- c) Com relação à entrada de *pellets*, tomando como marcador a zona “linha do deixa”, a quantidade média da entrada de *pellets* ao longo da praia se mostrou heterogênea, sendo maior no trecho T9 – Ponta da Praia, seguido do trecho T8 – Canal 6; trecho T5 – Av. Cons. Nébias; trecho T4 – Canal 3; trecho T3 – Av. Ana Costa; trecho T1 – Canal 1; trecho T6 – Canal 4; trecho T7 – Canal 5 e trecho T2 – Canal 2.
- d) As zonas onde ocorreram as maiores deposições correspondem à zona “linha do deixa”, seguida da zona seca.
- e) A análise do teste Kruskal-Wallis utilizando o fator trecho de praia não evidenciou diferença significativa entre eles.

Quanto à ocorrência de *pellets* perpendicularmente à praia, a análise inicial de Kruskal-Wallis detectou forte diferença significativa e o teste de Nemenyi detectou isso para todos os níveis.

Ainda, os resultados do presente estudo apontaram que a zona deposicional foi deslocada para entre os canais 3 e 4 e Ponta da Praia, porém os resultados são incipientes.

Sugere-se a realização de outros estudos que levem em consideração o ciclo sazonal completo, observando-se a forma como ocorrem as deposições de *pellets* nos demais períodos do ano, assim como observe-se a entrada de *pellets* e a ocorrência tanto ao longo da praia como perpendicularmente à linha d'água.

Agradecimentos

Agradecimento à Universidade Santa Cecília (UNISANTA) pela bolsa de estudo concedida ao primeiro autor e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 pela bolsa concedida à segunda autora.

Referências

- Baztan, J., Carrasco, A., Chouinard, O., Cleaud, M., Gabaldon, J. E., Huck, T., Jorgesen, B., Miguelez, A., Paillard, C., & Vanderlinden, J. P. (2014). Protected areas in the Atlantic facing the hazards of micro-plastic pollution: First diagnosis of three islands in the Canary Current. *Marine Pollution Bulletin*, 80(1-2), 302-311.
- Besley, A., Vijver, M. G., Behrens, P., & Bosker, T. (2017). A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin*, 114, 77-83.
- Browne, M. A., Galloway, T. S. & Thompson, R. C. (2010). Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science & Technology*, 44(9), 3404-3409. <https://doi.org/10.1021/es903784e>
- Carvalho, D. G. de, & Neto, J. A. B. (2016). Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. *Ocean & Coastal Management*, 128, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.04.009>
- Claessens, M., De Meester, S., Van Landuyt, L., De Clerck, K. & Janssen, C. R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 62(10), 2199-2204. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.030>
- Corcoran, P. L., Biesinger, M. C. & Grifi, M. (2009). Plastics and beaches: A degrading relationship. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 80-84. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.08.022>
- Fisner, M., Majer, A. P., Balthazar-Silva, D., Gorman, D. & Turra, A. (2017). Quantifying microplastic pollution on sandy beaches: the conundrum of large sample variability and spatial heterogeneity. *Environmental Science and Pollution Research*, 24 (15), 13732-13740. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8883-y>
- Fundespa - Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas. (2012). Programa 8: Programa de monitoramento do perfil praias, p. 161, 2012. http://dragagem.portodesantos.com.br/portal/public/docs/perfil_praial/relatorio_4.pdf.
- Fundespa - Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas. (2014). Monitoramento dos Sedimentos de Superfície de Fundo e Caracterização do Transporte Sedimentar Residual no Setor Nordeste da Baía de Santos. Plano Básico Ambiental da Dragagem de Aprofundamento do Canal de Navegação do Porto de Santos. 2º Relatório Consolidado, julho/2014. 98p. CODESP/SEP.
- Gregory, M. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings-entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (1526), 2013-2025. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265>
- Harari, J. & Gordon, M. (2001). Simulações numéricas da dispersão de substâncias no Porto e Baía de Santos, sob a ação de marés e ventos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 6 (4), 115-131. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v6n4.p115-131>
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C. & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, 46 (6), 3060-3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- Izar, G. M., Morais, L. G., Pereira, C. D. S., Cesar, A., Abessa, D. M. S. & Christofolletti, R. A. (2019). Quantitative analysis of pellets on beaches of the São Paulo coast and associated non-ingested ecotoxicological effects on marine organisms. *Regional Studies in Marine Science*, 29 100705. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100705>
- Krebs, C. J. (1999). *Ecological Methodology*. Menlo Park, Benjamin Cummings (2a ed.), 624p.
- Manzano, A. B. (2009). *Distribuição, taxa de entrada, composição química e identificação de fontes de grânulos plásticos na Enseada de Santos, SP, Brasil*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil]. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21131/tde-30042010-104436/pt-br.php>
- McDermid, K. J. & McMullen, T. L. (2004). Quantitative analysis of small-plastic debris on beaches in the Hawaiian archipelago. *Marine Pollution Bulletin*, 48(7-8), 790-794. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.10.017>

- Moreira, F. T., Balthazar-Silva, D., Barbosa, L. & Turra, A. (2016). Revealing accumulation zones of plastic pellets in sandy beaches. *Environmental Pollution*, 218, 313-321. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.006>
- Ribeiro, V. V. (2020). Índice de Poluição por Pellets (IPP) na Baía de Santos (SP) no inverno de 2019. *Revista Sítio Novo*, 4(2), 102-111. <https://sitionovo.iftto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/482/0>
- Scherrer, B. (1983). Techniques de sondage en écologie. In: Frontier, S. ed. *Stratégies d'échantillonnage en écologie*. Paris. Masson. p.63-162.
- Tagg, A. S. & Do Sul, J. A. I. (2019). Is this your glitter? An overlooked but potentially environmentally valuable microplastic. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 50-53. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.068>
- Turra, A., Manzano, A. B., Dias, R. J. S., Mahiques, M. M., Barbosa, L., Balthazar-Silva, D. & Moreira, F. T. (2014). Three-dimensional distribution of plastic pellets in sandy beaches: shifting paradigms. *Scientific Reports*, 4, 4435. <https://doi.org/10.1038/srep04435>
- Venancio, K. K. (2018). Evolução hidromorfodinâmica da região da Ponta da Praia em Santos-SP, no período entre 2009 e 2017. [Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22707.37927>
- Williams, A. T., Tudor, D. T. & Gregory, M. R. (2005). Marine debris-onshore, offshore, seafloor litter. *Encyclopedia Of Coastal Science*, 623-628 https://doi.org/10.1007/1-4020-3880-1_207
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical Analysis*. New Jersey, Prentice-Hall, (5a ed.), 663p.
- Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 74-86. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.032>