

Artigo

Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos: Uma Avaliação da Contaminação do Solo Superficial de Manguinhos, Rio de Janeiro (RJ)

Carvalho, D. A.;* Alves, S. R.; Oliveira, R. M. B.; Silva, S. A.; Fernandes, M. S. B.

Rev. Virtual Quim., 2020, 12 (4), 888-990. Data de publicação na Web: 26 de Junho de 2020

<http://rvq.s bq.org.br>**Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: An Assessment of Contamination in Superficial Soil of Manguinhos, Rio de Janeiro (RJ)**

Abstract: This work aims to qualify the information regarding the points of contamination by PAHs present in the soil of Manguinhos/RJ and its consequences for human and environmental health, contributing to qualify the interventions of the public power. Located in the northern part of the municipality of Rio de Janeiro/RJ, Manguinhos is made up of 13 communities, totaling approximately 36 thousand inhabitants. This region receives pollutants from various sources, especially the Manguinhos Refinery and Avenida Brasil where thousands of vehicles/day circulate. The Sampling Plan corresponds to a regular grid on the map of the neighborhood with points equidistant from 150m. Determinations of PAH concentrations were performed by GC/MS. The results obtained show that five communities present results of the Σ of 10 PAH higher than the Alert value (Dutch List) considering the maximum values allowed. Among all the evaluates places the Vila União presented results above the Alert Value considering the maximum allowed values and the median.

Keywords: Environmental monitoring; organic pollutants; contaminated soil; occupation of territory.

Resumo

Este trabalho visa qualificar as informações a respeito dos pontos de contaminação por HPAs presentes no solo de Manguinhos/RJ e suas consequências para a saúde humana e ambiental, contribuindo para qualificar as intervenções do poder público. Situado na zona norte do município do Rio de Janeiro/RJ, Manguinhos é constituído de 13 comunidades, totalizando aproximadamente 36 mil habitantes. Esta região recebe poluentes de fontes diversas com destaque para a Refinaria de Manguinhos e a Avenida Brasil onde circulam milhares de veículos/dia. O Plano de Amostragem correspondeu a uma grade regular sobre o mapa do bairro com pontos equidistantes de 150m. As determinações das concentrações de HPAs foram realizadas por CG/MS. Os resultados obtidos mostram que cinco comunidades apresentaram resultados do Σ dos 10 HPAs superiores ao Valor de Alerta (Lista Holandesa) considerando os valores máximos permitidos. Dentre todos os locais avaliados a Vila União apresentou resultados superiores ao Valor de Alerta considerando os valores máximos permitidos e a mediana.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental; poluentes orgânicos; solo contaminado; ocupação do território.

* Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Departamento de Saúde e Saneamento Ambiental, CEP: 21041-210, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

 danny@ensp.fiocruz.br
DOI: [10.21577/1984-6835.20200071](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200071)

Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos: Uma Avaliação da Contaminação do Solo Superficial de Manguinhos, Rio de Janeiro (RJ)

Danielle de A. Carvalho,^{a,*}  Sérgio R. Alves,^a Rosália M. B. de Oliveira,^a Sérgio A. da Silva,^b Manoella S. de B. Fernandes^a

^a Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, CEP 21041-210, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

^b Fundação Oswaldo Cruz, Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde, CEP 21040-900, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

*danny@ensp.fiocruz.br

Recebido em 22 de Agosto de 2019. Aceito para publicação em 7 de Maio de 2020.

1. Introdução

2. Materiais e Métodos

2.1. Metodologia de campo

2.2. Metodologia analítica

2.3. Metodologia de extração e de processamento das amostras

2.4. Identificação dos HPAs nas amostras de solo.

2.5. Quantificação dos HPAs nas amostras de solo

2.6. Tratamento dos dados

3. Resultados e Discussão

4. Conclusão

1. Introdução

Os HPAs possuem duas principais fontes: naturais como emissões vulcânicas e biossíntese por algas, e antropogênicas como derramamento de petróleo e seus derivados, queima incompleta de combustíveis fósseis, queima de florestas, atividades industriais, despejos irregulares de resíduos industriais entre outros. A principal fonte de contaminação antropogênica, não natural, são os produtos primários de processos de combustão incompleta de petróleo e seus derivados processados em diferentes temperaturas.¹

Os HPAs são classificados como poluentes B-2, “provavelmente carcinogênicos a humanos”. Os HPAs apresentam em suas estruturas de 2 a

6 anéis aromáticos fundidos entre si, com massa molecular (MM) variando de 128 a 278 g mol⁻¹; ressalta-se que a carcinogenicidade aumenta com o aumento da massa molecular enquanto a toxicidade aguda diminui.^{2,3}

Dentre os efeitos tóxicos conhecidos os HPAs podem causar efeitos danosos no crescimento, metabolismo e reprodução de toda a biota (microrganismos, plantas terrestres, biota aquática, anfíbios, répteis, aves e mamíferos). Por consequência, estes efeitos podem estar associados à formação de tumores, toxicidade aguda, bioacumulação e danos à pele de diversas espécies de animais.⁴ Vários estudos realizados a décadas mostram que os HPAs e os seus derivados podem ser associados ao aumento da incidência de vários tipos de cânceres no homem.⁵

Segundo a Organização Mundial da Saúde, os HPAs são poluentes orgânicos de importância ambiental e interesse toxicológico por apresentarem propriedades pré-carcinogênicas e/ou mutagênicas para homens e animais.⁴

A *International Agency for Research on Cancer* (IARC) descreve os possíveis efeitos adversos à saúde humana causados pela exposição aos HPAs apontando evidências de carcinogenicidade destes compostos químicos.⁶ As vias de ingresso dos HPAs nos seres humanos ocorrem através de diferentes formas como a inalação de ar, a ingestão de águas, solos, poeiras e alimentos e contato através da pele.^{4,6}

A toxicidade de uma substância depende de diversos fatores como dose, frequência e tempo de exposição, assim como das condições fisiológicas e/ou patológicas do organismo exposto. Deste modo, conhecer ao máximo os riscos que uma substância ou grupo de substâncias oferecem aos organismos vivos é necessário, de modo que se possam estabelecer condições seguras de uso e/ou exposição.⁷

Apesar da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA)⁸ indicar dezesseis HPAs como poluentes prioritários em relação à sua toxicidade, persistência e predominância no meio ambiente. Neste trabalho foi considerado 10 compostos prioritários para comparar os resultados obtidos com os parâmetros estabelecidos pela norma da CETESB, normativa mais restritiva vigente no país.

O bairro de Manguinhos tem sua história de formação diretamente associada ao processo de expansão e construção da cidade do Rio de Janeiro. Por ser uma região originalmente industrial, seu histórico de ocupação remonta de um processo de ocupação não convencional e de grandes espaços parcialmente vazios, contrastando com a densidade habitacional das áreas formais vizinhas.⁹

O bairro foi moldado pela ocupação desordenada de espaços antes ocupados por indústrias que encerraram suas atividades na região, deixando grandes espaços vazios e desocupados.⁹

A região possui uma população de cerca de 36 mil habitantes, dos quais cerca de 40,0 % são crianças e adolescentes, e tem como principal característica sociopolítica o fato de ser composto por 13 comunidades, também chamadas de favelas, nas quais as condições de vida são bastante problemáticas, chegando, nas mais

pobres, a apresentar um panorama de extrema precariedade.¹⁰

A alta densidade demográfica desta região, o histórico de ter abrigado um expressivo parque industrial, a presença de algumas indústrias cujos efluentes produzem forte impacto sobre a saúde humana, como o estudo de Castro *et al.* (2009)¹¹ que associou a exposição diária à poluição do ar e função pulmonar em 118 crianças do Complexo de Manguinhos.

O bairro é cortado, também, por estradas, ruas e vias expressas com intenso tráfego de veículos automotores e com extrema proximidade à população local, são condições que justificam a necessidade da continuidade de monitoramento ambiental e humano.⁹

São diversos os fatores que levam estes grupos a residirem no entorno das indústrias, desde aspectos econômicos, em função do baixo custo do uso imobiliário da região, até aspectos logísticos, como proximidade ao local de trabalho e a grandes centros urbanos.¹²

Independente dos fatores que levaram a ocupação deste local, os moradores sofrem com o risco de contaminação por diversos agentes, como o chumbo, por exemplo. Em estudos anteriores realizados por Mattos *et al.* (2009)¹³ e Mainenti (2006)¹⁴ em sangue de crianças de Manguinhos, este elemento foi encontrado em concentrações acima do recomendado pelo CDC (*Centers for Disease Control and Prevention*) como ponto de corte para os efeitos nocivos do chumbo em crianças.

Devido ao contexto histórico, à proximidade de Manguinhos com uma refinaria de petróleo e com a Av. Brasil, uma das Avenidas de maior fluxo do Rio de Janeiro, tornou-se importante estudar a presença de substâncias tóxicas como os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) no solo da região. Os 10 HPAs prioritários analisados foram os seguintes: Naftaleno, Fenantreno, Antraceno, Fluoranteno, Benzo(a)antraceno, Criseno, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Benzo(ghi)perileno e Indeno(1,2,3,c-d)pireno.

São necessários dados e metodologias integradas que possam sinalizar informações relevantes que possam servir de subsídio para o desenvolvimento de políticas em saúde coletiva e direcionamentos rumo à melhoria da qualidade ambiental nessas localidades e, consequentemente, da saúde desta população.

A escolha da matriz solo se deu principalmente pelo fato dos HPAs serem translocados no

ambiente preferencialmente através da via atmosférica. Uma vez presentes na atmosfera, eles se associam ao material particulado mais fino presente nesta e são amplamente distribuídos. Por suas características de alto coeficiente de partição entre octanol-água, o processo cumulativo tende a ser, preferencialmente, em compartimentos terrestres como sedimentos e solo superficiais, ricos em matéria orgânica.³

Neste estudo não foram discutidas as concentrações individuais dos HPAs pois utilizamos como valores orientadores os descritos na Lista Holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI. Essa lista utiliza o conceito de multifuncionalidade do solo estabelecido em 1987, por meio da promulgação da Lei de Proteção do Solo (*Soil Protection Act*) pelo governo federal holandês.

Desta forma, sendo os HPAs uma classe de compostos originados, no meio urbano, principalmente da queima incompleta de combustíveis fósseis, seus valores individuais não acrescentariam informações relevantes para o estudo, conforme descrito na Ficha de Informações Toxicológicas (FIT) – HPAS.¹⁵

Aproximidade espacial com a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e o interesse desta instituição em dedicar-se a iniciativas comprometidas com a saúde pública no seu entorno, vêm estimulando muitas ações no território, com o intuito de mitigar os efeitos das iniquidades sociais na saúde às quais esta população está submetida, como por exemplo ações contra o *Aedes aegypti*, vetor

de importantes agravos como a Dengue, Zica e Chikungunya¹⁶.

Este território possui um dos piores IDH do município do Rio de Janeiro¹⁰ e nele encontram-se instaladas grandes empresas como os Correios (Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos, empresa pública federal) e a Refinaria de Manguinhos e importantes instituições como a Fundação Abrigo Cristo Redentor e a própria Fiocruz.

Nesse contexto é imperativa a realização de estudos mais aprofundados com relação às fontes de contaminação existentes no território de Manguinhos, assim como a avaliação do solo como provável rota de exposição, do impacto desta para a população exposta a curto, médio e longo prazo e da proposição de estratégias mitigadoras.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é avaliar as concentrações residuais dos 10 HPAs prioritários no solo de Manguinhos, no Rio de Janeiro (RJ) e comparar com a legislação Holandesa em que se baseia a Norma da CETESB, único órgão do Brasil com alguma normativa desses contaminantes.

2. Materiais e Métodos

2.1. Metodologia de campo

Nesse trabalho optou-se trabalhar com os limites territoriais do bairro de Manguinhos por ser este o recorte espacial mais bem definido pela legislação municipal (Figura 1).

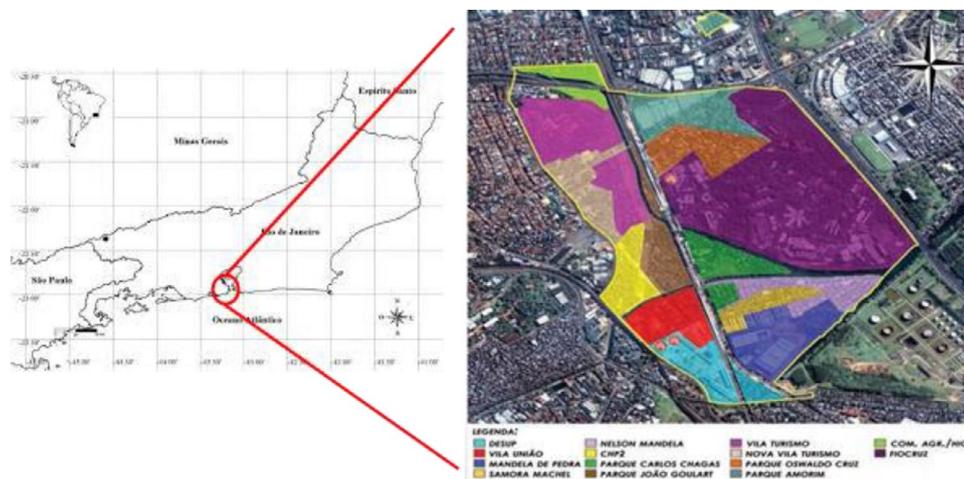


Figura 1. Perímetro da Área de Estudo: Manguinhos (RJ) (adaptado de Bruno *et al.*, 2011, 2016; Oliveira *et al.*, 2012)¹⁷⁻¹⁹

O Plano de Amostragem para a coleta de amostras de solo e seu perímetro definido (Figura 2), correspondente à projeção de uma grade regular sobre o mapa do bairro, com intervalos de 150 m entre os pontos de encontro das linhas, o que resultou em 68 pontos de coleta de solo. A área total amostrada contém aproximadamente 1.618.400 m² e integra as 13 comunidades de Manguinhos, o *campus* da Fiocruz e a Fundação Abrigo Cristo Redentor, conforme descrito no item anterior. O traçado da malha de pontos foi elaborado para que o número de amostras fosse estatisticamente representativo para a determinação da contaminação da área de estudo.

As amostras foram coletadas em 4 campanhas de coleta, em cada uma das 4 estações do ano, compreendidas entre janeiro e outubro de 2014, perfazendo um total de 259 amostras de solo superficial.

O estudo de identificação e de caracterização do solo da região de Manguinhos teve início com uma pesquisa bibliográfica. As principais referências utilizadas nesta pesquisa foram o Mapa Pedológico da EMBRAPA e a metodologia adotada pelo CPRM para classificação e mapeamento de solos do Estado do Rio de Janeiro. Tendo sido selecionado o mapa digital georreferenciado do CPRM-RJ como fonte de informação pedológica em função do detalhamento da escala otimizada para a região da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara onde se insere a Sub-Bacia do Rio Faria Timbó e Canal do Cunha.

As amostras de solo-padrão foram coletadas no Distrito de Suruí, município de Magé, área com

a mesma tipologia do solo de Manguinhos para estudo de recuperação dos analitos de interesse (HPAs) na matriz solo.

Todas as amostras (solo de Manguinhos e solo padrão) foram coletadas em dias sem chuva pois o solo muito molhado, em forma de lama, inviabilizava a extração dos analitos de interesse, compostos orgânicos, na matriz estudada. O solo em forma de lama demorava muito mais tempo para secar, aumentando o tempo entre a coleta, o processamento e a análise cromatográfica inviabilizando a análise.

2.2. Metodologia analítica

Após a coleta, as amostras de solo foram processadas e secas à temperatura ambiente sobre papel Kraft recoberto com papel alumínio durante 10 dias. Após a etapa de secagem foi retirado todo o material grosseiro visível (pedras, galhos, folhas entre outros). Em seguida as amostras foram peneiradas (tamizadas) em um conjunto de peneiras com 02, 10 e 20 *mesh*. A sequência foi finalizada com a peneira de 20 *mesh*. Cada amostra foi quarterizada para obtenção da amostra homogeneizada. As amostras homogeneizadas foram acondicionadas em embalagens de plástico e estocadas à temperatura de -25 °C para posterior análise no laboratório. A coleta, o processamento e as análises dos HPAs foram realizadas de acordo com a adaptação dos métodos USEPA-Método 3540C²⁰, USEPA-Método 3535A²¹ e USEPA-Método 8270D.²²

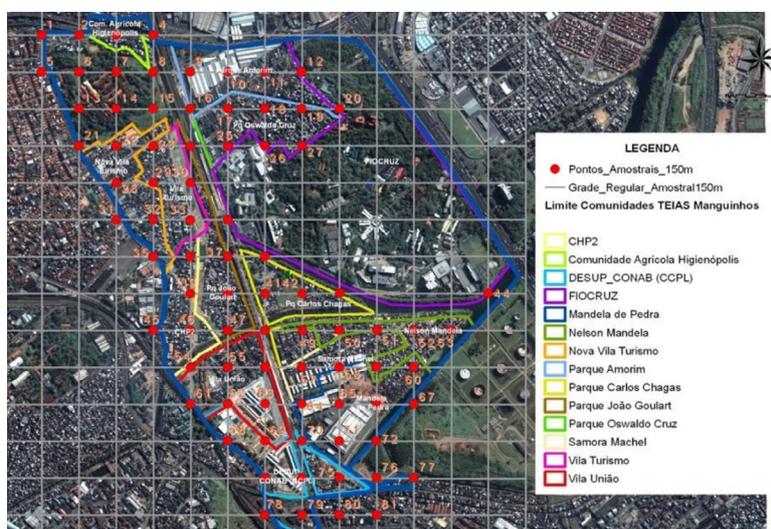


Figura 2. Plano de Amostragem de Solo em Manguinhos (RJ) (adaptado de Bruno *et al.*, 2011, 2016; Oliveira *et al.*, 2012)¹⁷⁻¹⁹

Foram identificados e quantificados nas amostras de solo de Manguinhos dez (10) compostos distintos de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs), a saber: antraceno, benzo(a) antraceno, benzo(k)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(a)pireno, criseno, dibenzo(a,h) antraceno, fenantreno, indeno (1,2,3-c,d)pireno e naftaleno.

2.3. Metodologia de extração e de processamento das amostras

A determinação dos 10 HPAs foram otimizadas segundo as metodologias: análise de HPAs por cromatografia à gás acoplada a um espectrômetro de massas (USEPA-Método 8270²²), a extração com diclorometano e acetona 1:1 em ultrassom (USEPA-Método 3540C²⁰), a purificação em coluna de sílica gel (USEPA-Método 3535A²¹) e a concentração por meio da evaporação do solvente com Nitrogênio. Este método de concentração é simples, rápido, barato e conveniente para a troca de solvente quando necessária.

No momento da análise as amostras foram retiradas do *freezer* e mantidas sobre a bancada até atingirem a temperatura ambiente. Em seguida, foram pesados 1,0000 g de cada amostra em um tubo de ensaio, com capacidade de 10 mL, com tampa de rosca esmerilhada para análise dos HPAs.

As amostras pesadas para análise dos HPAs foram fortificadas com 100 µL de solução a 2 µg L⁻¹ de p-terfenil-d14 (98,5 %; Sigma-Aldrich, Brasil) e deixadas em repouso por 15 minutos para que o solvente evaporasse. A cada amostra foi adicionado 0,5 g de sulfato de sódio anidro para retirar qualquer resíduo de umidade presente na amostra. Os tubos foram agitados em Vórtex (Phoenix; Brasil) por 2 minutos para promover a homogeneização das amostras. A cada uma delas foram adicionados 5,0 mL de solução acetona/diclorometano (1:1) (grau HPLC; Merck; Brasil) e foram submetidas à extração em banho ultrasônico (Cole Parmer, Brasil) por 24

minutos. As amostras foram centrifugadas em uma centrífuga clínica para tubos de até 15 mL (Centribio, Brasil) a 3500 rpm durante 5 minutos. O sobrenadante contendo os analitos de interesse foi transferido para um tubo de ensaio de 10 mL. Ao resíduo da extração foram adicionados mais 5,0 mL de solução acetona/diclorometano (1:1), repetindo a operação. O extrato foi concentrado em rotaevaporador (Buchi, Brasil) sob fluxo de gás Nitrogênio (99,999 %; Air Liquid; Brasil) e o volume reduzido a aproximadamente 500 µL. Os extratos foram reservados para a etapa de purificação.

Para a etapa de purificação dos extratos obtidos foi utilizada coluna para extração em fase sólida de sílica gel com 1 g por 6 mL. Estes cartuchos foram condicionados eluindo duas vezes cada coluna com 10 mL de diclorometano e uma vez com 10 mL de solução acetona/diclorometano (1:1). Após o condicionamento das colunas os extratos obtidos na etapa anterior foram eluídos com 10 mL de diclorometano e, em seguida, concentrados sob fluxo de Nitrogênio até volume final de aproximadamente 300 µL. Em seguida, transferidos volumetricamente para um *vial* âmbar, fortificados com 100 µL de solução a 1 µg L⁻¹ de antraceno-d10 (99 %; Sigma-Aldrich, Brasil) e o volume ajustado para 1,0 mL com acetona.

2.4. Identificação dos HPAs nas amostras de solo.

A /EM) de acordo com as condições descritas na Tabela 1:

Para a análise de todas as amostras foi utilizado o método com monitoramento seletivo de íons (MSI), como modo de análise para a etapa de quantificação. O tempo de retenção e os íons característicos (m/z) de cada composto em estudo foram obtidos através de uma análise com varredura linear de padrões autênticos na faixa de massas de 50 – 550 Da.

Tabela 1. Condições de análise dos HPAs na matriz solo

Teste de normalidade (teste de Shapiro-wilk)	
Primavera	p-valor < 2.2e-16
Verão	p-valor < 2.2e-16
Outono	p-valor = 2,5e-4
Inverno	p-valor < 2.2e-16

2.5. Quantificação dos HPAs nas amostras de solo

O solo da área controle foi analisado e, após a certificação que estavam isentos dos contaminantes de interesse foram utilizados para a determinação quantitativa dos 10 HPAs através de uma curva analítica com padronização externa a partir dos extratos obtidos na etapa anterior.

As curvas de calibração foram construídas plotando-se no eixo das abcissas (y) a área do analito e no eixo das ordenadas (x) as concentrações do analito (ng mL^{-1}). A linearidade do sistema foi medida utilizando 4-6 pontos de concentração na faixa de $5,0 - 2000 \text{ ng mL}^{-1}$ das soluções padrão contendo os 10 HPAs.

2.6. Tratamento dos dados

Como havia dados de concentração para cada ponto nas 4 estações do ano foram realizados testes estatísticos para avaliação das similaridades ou dissimilaridades entre as estações do ano.

Foi realizado primeiramente o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, pareados e bilaterais. Como o teste indicou que os dados não seguem a normalidade foi realizado o teste Kruskal-Wallis, que alguns autores mostram como um dos melhores testes para significância de dados não paramétricos.^{23,24}

Os mapas temáticos foram elaborados para apresentar os resultados da dispersão de concentração dos HPAs no território estudado. Os mapas temáticos foram construídos no *software QGIS 3.2.1*, tendo como base o Plano de Amostragem.

Foram utilizadas as cores: vermelho para valores superiores aos Valores de Intervenção ($8,0 \text{ mg Kg}^{-1}$), laranja para valores superiores aos Valores de Alerta ($4,1 \text{ mg Kg}^{-1}$), amarelo para valores entre os Valores de Alerta e os de Referência e bege para os valores inferiores aos Valores de Referência ($0,2 \text{ mg Kg}^{-1}$).

Foi construído, também, um mapa temático que utilizou o dado de densidade populacional, calculada utilizando os dados do IBGE (2010)¹⁰ de número de moradores por domicílio dividido pelo total de domicílios em cada setor censitário.

Esses mapas temáticos foram elaborados para apresentar os resultados das associações das variáveis socioambientais e da dispersão de concentração de HPAs no território estudado.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos nas análises de HPAs das 259 amostras de solo em Manguinhos estão apresentados sob a forma de somatório dos dez (10) compostos considerados prioritários para cada campanha de coleta e para cada ponto

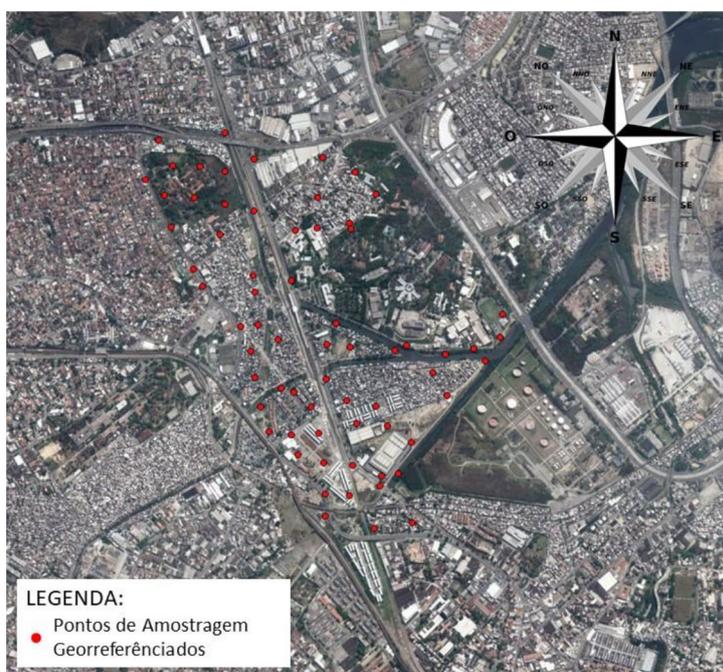


Figura 3. Mapa com os pontos georreferenciados de amostragem de solo, Manguinhos, Rio de Janeiro (RJ)

amostrado. Desta forma, foi possível comparar os resultados obtidos com os valores orientadores para solos estabelecidos pela CETESB (1999).²⁵

A Figura 3 mostra o mapa de amostragem de solo no território de Manguinhos. Cada ponto foi georreferenciado.

A experiência de coleta de amostras em uma região com tantas características peculiares é ao mesmo tempo construtiva e reflexiva. Remete a uma reflexão em como e ao que aquela população está exposta todos os dias. Muitas vezes sem ter uma outra opção de vida.

Primeiramente, foram realizados testes estatísticos de normalidade nos resultados obtidos para relacionar os dados de concentração com a sazonalidade da coleta das amostras. O tamanho amostral influencia diretamente na eficiência dos testes de normalidade. Amostras pequenas, com menos de 500 unidades tem maior especificidade com os testes de Shapiro-Wilk e Shapiro-Franca.²⁶

Desta forma, foram realizados testes de normalidade - Shapiro-Wilk - entre os pontos de coleta considerando o somatório das concentrações dos 10 HPAs prioritários para cada ponto nas 4 estações do ano. Foi utilizado para verificar se a distribuição de probabilidade do conjunto de dados poderia ou não se aproximar da distribuição normal.

O teste pressupõe a hipótese nula (H0) como sendo a normalidade dos dados, retornando um

p-valor > 0,05 se os dados seguirem os parâmetros de normalidade.

Desta forma, a Tabela 2 indicou que os dados não seguem a normalidade, ou seja, não são paramétricos pois os valores de p-valor foram todos inferiores à 0,05.

Desta forma optou-se por usar o teste Kruskal-Walis para dados não paramétricos ao invés de normalizar os dados. Dados não-paramétricos têm a vantagem de permitir estudar, quanto à significância, os dados originais do experimento, supondo que as amostras são independentes, o que ocorre frequentemente com amostras ambientais.²⁷

Desta forma o teste de Kruskal-Walis pressupõe a hipótese nula (H0) de que todos os grupos veem da mesma população, ou seja, tem a mesma distribuição, retornando um p-valor > 0,05 se os dados forem da mesma população.

A Tabela 3 mostra o teste de comparação para dados não paramétricos (teste). Este teste foi usado para fazer a comparação estatística entre o somatório das concentrações dos 10 HPAs prioritários nas diferentes estações do ano pareadas duas a duas.

Desta forma, o teste mostra que as concentrações 10 HPAs prioritários nas diferentes estações do ano podem ser agrupados em uma mesma população, ou seja, possuem estatisticamente uma mesma distribuição quando

Tabela 2. Teste de normalidade entre o somatório das concentrações dos 10 HPAs prioritários nas diferentes estações do ano

Teste de normalidade (teste de Shapiro-wilk)	
Primavera	p-valor < 2.2e ⁻¹⁶
Verão	p-valor < 2.2e ⁻¹⁶
Outono	p-valor = 2,5e ⁻⁴
Inverno	p-valor < 2.2e ⁻¹⁶

Tabela 3. Teste de comparação para dados não paramétricos

Teste de Kruskal-wallis (Comparações entre estações)	
p-valor = 0.1456 (entre as 4 estações)	
Primavera x verão	p-valor = 0.7244
Primavera x outono	p-valor = 0.4172
Primavera x inverno	p-valor = 0.2601
Verão x outono	p-valor = 0.1993
Verão x inverno	p-valor = 0.4331
Outono x inverno	p-valor = 0.6989

são comparados os dados das 4 estações do ano, assim como quando são comparados pareando os dados das estações do ano duas a duas.

Todos os pontos coletados apresentaram teores residuais de HPAs para o somatório dos 10 compostos. Para cada ponto de coleta, primeiramente, foram calculados os somatórios dos 10 HPAs prioritários para cada uma das 4 coletas realizadas e assim foram obtidos quatro resultados de concentração para cada ponto. A análise estatística desses quatro resultados, por ponto, através do cálculo da mediana e do valor máximo gerou dois resultados por ponto. Esses últimos dados foram comparados com os valores orientadores para solos e água subterrânea estabelecidos pela CETESB (1999).²⁵

Este estudo foi de caráter ecológico. Desta forma, um dos seus pressupostos é uma alta variabilidade dos dados obtidos.²⁸ Esse foi o principal motivo para nenhum dado ser considerado anômalo e ser utilizada a mediana dos dados obtidos.

Foi estabelecido o cálculo da mediana como variável. A mediana é uma medida que divide em 50 % o número de elementos que se tem e é usada quando os dados obtidos são dispersos com valores muito distantes da média.

Na avaliação dos resultados, considerando os valores máximos, as comunidades do Parque Oswaldo Cruz, Mandela de Pedra, Vila Turismo, DESUP e Vila União apresentaram teores residuais, de Σ da concentração dos 10 HPAs prioritários em solos superiores ao Valor de Alerta. Esses valores foram: 12,441 mg.Kg⁻¹ para o Parque Oswaldo

Cruz; 4,258 mg.Kg⁻¹ para a Mandela de Pedra; 4,136 mg.Kg⁻¹ para a Vila Turismo; 5,639 mg.Kg⁻¹ para o DESUP; e 37,569 mg.Kg⁻¹ para a Vila União.

Pode ser observado no mapa temático da dispersão da contaminação por HPAs com os valores máximos (Figura 4) a ocorrência dos focos de calor concentrados principalmente nessas regiões. O mapa mostra a dispersão dos contaminantes seguindo o padrão de cores descrito na metodologia para o somatório dos 10 HPAs em todos os pontos de coleta, considerando o valor máximo encontrado em cada ponto.

Optou-se nesse estudo apresentar apenas os dados quantitativos dos 5 pontos que apresentaram valores acima dos valores de alerta ou intervenção preconizados por órgãos de competência nacional e internacional.

É importante ressaltar que Manguinhos é, hoje, uma área residencial onde crianças brincam, correm, jogam bola e andam descalças. Algumas crianças costumam brincar em canteiros e pracinhas.^{29,30} O que pode aumentar a exposição dessa categoria que inerentemente é mais susceptível aos efeitos adversos dos contaminantes químicos presentes.

Os mapas de calor, ou seja, as densidades do somatório das concentrações dos 10 HPAs prioritários servem para identificar visualmente aglomerados e/ou encontrar pontos onde possam existir uma concentração mais elevada do contaminante de interesse.³¹

Avaliando conforme a mediana, apenas a comunidade da Vila União apresentou um ponto

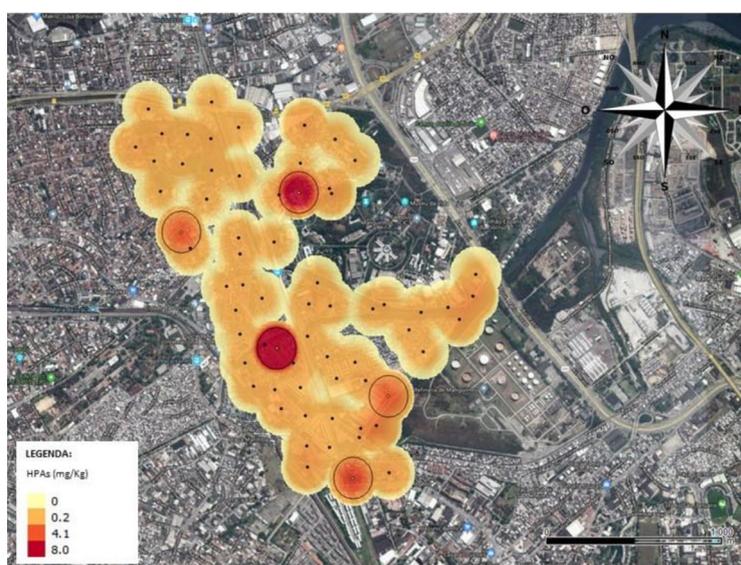


Figura 4. Mapa temático da dispersão de contaminação por HPAs no solo de Manguinhos, Rio de Janeiro (RJ), considerando os valores máximos encontrados

com concentrações residuais superiores ao Valor de Alerta que foi de 16,016 mg.Kg⁻¹.

O mapa temático da dispersão de contaminação por HPAs, considerando a mediana, encontra-se apresentado na Figura 5. Nesta figura é possível observar a presença do foco de calor concentrado nesse ponto localizado na comunidade da Vila União.

O mapa de área de influência - *Buffer* - (Figura 6) foi elaborado utilizando áreas de influência com raio de 450 m dos 5 pontos que apresentaram valores máximos acima dos Valores de Alerta.

A densidade populacional foi calculada utilizando os dados do IBGE¹⁰ (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) do número de moradores por domicílio dividido pelo total de domicílios em

cada setor censitário. Esse mapa é muito utilizado em estudos ambientais para geração de áreas de influência de pontos de concentração acima dos valores da legislação em uma região com contaminação ambiental por produtos químicos.

É importante ressaltar aqui que as áreas com os pontos de concentração do somatório dos 10 HPAs prioritários acima dos valores de alerta coincidem com áreas do território de Manguinhos que possui a maior densidade populacional o que indica que os pontos com maiores valores de concentração dos contaminantes estão, em sua maioria, localizados em área residenciais e densamente povoadas, com uma parcela importante de seus moradores convivendo diariamente com essa contaminação.

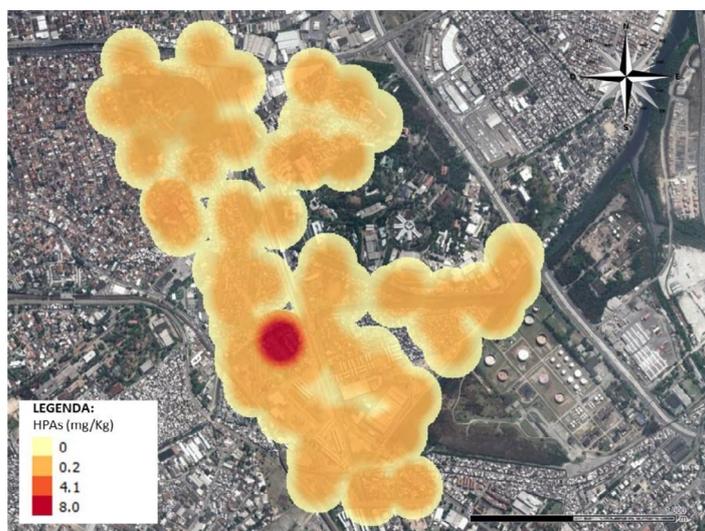


Figura 5. Mapa temático da dispersão de contaminação por HPAs no solo de Manguinhos, Rio de Janeiro (RJ), considerando a mediana dos resultados obtidos

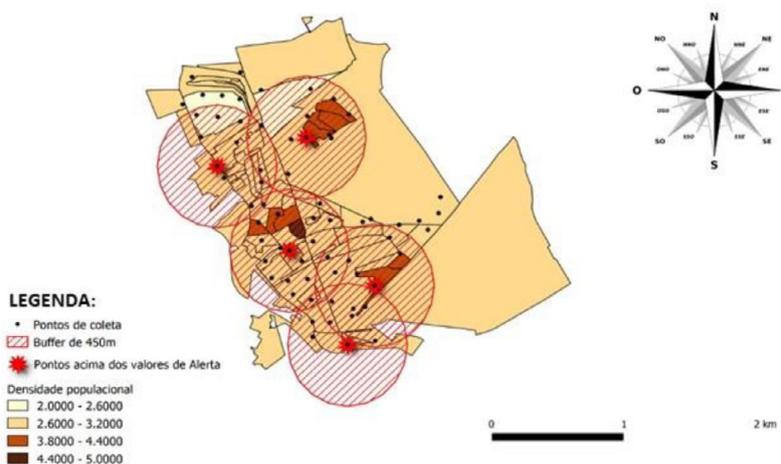


Figura 6. Mapas de Buffer com raio de 450 m do somatório das concentrações máximas para os 10 HPAs prioritários no solo de Manguinhos (RJ) segundo a densidade populacional do território

Esse número de pontos que apresentaram valores acima dos valores de alerta ou intervenção preconizados por órgãos de competência nacional e internacional é relevante e preocupante visto que existe uma população, que já se encontra em situação de vulnerabilidade social, econômica e civil, também exposta ao risco de uma contaminação química.

Esse mapa mostra também que, quando são considerados os valores máximos, aproximadamente 89 % do território estudado está sob a influência espacial de pontos de contaminação acima do valor de referência.

As áreas de influência espacial são de grande interesse, pois através delas é possível determinar e verificar até onde pode chegar a influência de uma contaminação, para que possa servir de subsídio para tomadas decisões sobre as áreas de abrangência em relação à distribuição dessa contaminação e dar apoio à decisão de ampliação do estudo de avaliação de riscos que essa população está exposta.³²

A população das comunidades (ou favelas) já vive, constantemente, situações de discriminação e exclusão social e racial, pobreza ou miséria. Em um cenário com o crescente aumento da violência onde falta a garantia e de extensão de seus direitos básicos.³³

Podemos somar a isso a falta de acesso à informação ou o acesso à informação equivocada, aos alagamentos, enchentes, desabamentos. Tudo isso pode potencializar os danos ou efeitos adversos que um solo contaminado pode causar à saúde dessa população exposta e vulnerável.

4. Conclusão

Os mapas de calor mostraram que os HPAs são contaminantes químicos presentes na camada superficial do solo do território investigado, com localidades críticas apresentando concentrações acima dos Valores de Intervenção.

O uso da ferramenta do *Buffer* associado aos mapas temáticos dos indicadores de vulnerabilidade ambiental mostrou que as áreas com maiores densidades demográficas são as de maiores riscos de contaminação do químico.

A análise espacial revelou ser de extrema importância no mapeamento do território quanto a distribuição da contaminação do solo por HPAs, identificando um risco em potencial nos espaços

sociogeográficos vulneráveis. Isto pode servir de subsídio para que os tomadores de decisão executem ações mitigadoras através de um estudo de avaliação de risco à saúde humana e ambiental.

Valores Superiores ao Valor de Alerta é um indicativo que se deve realizar uma Análise de Risco, pois a área é considerada contaminada. É necessário verificar os riscos e a extensão da contaminação ao meio ambiente e à saúde pública. Após essa etapa é preciso avaliar a necessidade de medidas de remediação ambiental do solo contaminado e determinar metas para a descontaminação de modo que as análises comprovem que os valores de concentrações dos contaminantes no solo estejam em níveis aceitáveis, ou seja, até o valor de referência da norma, para que seja garantido que não haja comprometimento ambiental.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, do Programa de Apoio à Pesquisa Estratégica – Papes VI/ENSP/Fiocruz (Projeto N° 407753/2012-5), do Programa de Desenvolvimento e Inovação Tecnológica em Saúde Pública – PDTSP/TEIAS/Fiocruz viabilizando a execução deste trabalho e o apoio da Faperj, Processo n° E-26/201.028/2017.

Referências Bibliográficas

- ¹Bettin, F. M.; Franco, D. W. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAS) em aguardentes. *Ciências Tecnológicas de Alimentos* **2005**, *25*, 234. [CrossRef]
- ²Meire, R. O.; Azeredo, A.; Torres, J. P. M. Aspectos ecotoxicológicos de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. *Oecologia Brasiliensis* **2007**, *11*, 188. [Link]
- ³United States Environmental Protection Agency; *Peer review and peer involvement at the US Environmental Protection Agency*, US Government Printing Office: Washington, 1994.
- ⁴World Health Organization; *Selected Non-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. International Programme on Chemical Safety*, IPCS: Geneva, 1988.
- ⁵Netto, A. D. P.; Moreira, J. C.; Dias, A. E. X. O.; Arbilla, G.; Ferreira, L. F. V.; Oliveira, A. S.; Barek, J. Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAS) e seus derivados nitrados (NHPAS): uma revisão metodológica. *Química Nova* **2000**, *23*, 765. [CrossRef]

- ⁶International Agency for Research on Cancer; *Evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to man: Some inorganic and organometallic compounds*, IARC: Lion, 1972.
- ⁷Trevisan, L. F. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil, 2012. [Link]
- ⁸United States Environmental Protection Agency. *Clean Water Act*, USEPA: Washington, 2007.
- ⁹Pessoa, A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2006.
- ¹⁰Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão; *Censo Demográfico 2010. Aglomerados subnormais - Informações territoriais*. IBGE: Rio de Janeiro, 2010. [Link]
- ¹¹Castro, H. A., Cunha, M. F.; Mendonça, G. A. S.; Junger, W. L.; Cunhacruz, J.; Leon, A. P. Effect of air pollution on lung function in schoolchildren in Rio de Janeiro, Brazil. *Revista de Saúde Pública* **2009**, 43, 1.
- ¹²Brito, F.; Souza, J. Expansão urbana nas grandes metrópoles o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza. *São Paulo em Perspectiva* **2005**, 19, 4.
- ¹³Mattos, R. C. O. C.; Carvalho, M. A. R.; Mainenti, H. R. D.; Xavier Junior, E. C.; Carvalho, L. B. V.; Borges, R. M.; Quitério, S. L.; Nogueira, S. M.; Costa, I. C.; Alves, M. F. M. Avaliação dos fatores de risco relacionados à exposição ao chumbo em crianças e adolescentes do Rio de Janeiro. *Ciência & Saúde Coletiva* **2009**, 14, 2039. [CrossRef]
- ¹⁴Mainenti, H. R. D.; *Dissertação de Mestrado*, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Brasil, 2006. [Link]
- ¹⁵Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental; *Ficha de Informação Toxicológica*, CETESB: São Paulo, 1999. [Link]
- ¹⁶Agência Fiocruz de Notícias. Disponível em: <<https://agencia.fiocruz.br/fiocruz-articula-acoes-contra-o-aedes-na-regiao-de-manguinhos>>. Acesso em: 22 agosto 2019
- ¹⁷Bruno, P. R. A.; Oliveira, R. M.; Carvalho, D. A.; Carmo, A. P. B.; Silva, C. A. C.; Santos, E. J. A.; Farias, F. M.; Damasceno, F.; Almeida, G. P.; Silva, G.; Silva, L. A.; Lima, M. C. M.; de Léo, O. C.; *Diagnóstico Socioambiental de Manguinhos*. Projeto de pesquisa desenvolvido na ENSP/Fiocruz submetido ao Programa de Desenvolvimento e Inovação Tecnológica em Saúde Pública, Território Integrado de Atenção à Saúde de Manguinhos (PDTSP/TEIAS). ENSP/Fiocruz: Rio de Janeiro, 2011.
- ¹⁸Oliveira, R. M.; Bruno, P. R. A.; Carvalho, D. A.; Carmo, A. B.; Silva, C. A.; Santos, E. J. A.; Farias, F. M.; Damasceno, F.; Almeida, G. P.; Silva, G.; Silva, L. A.; Lima, M. C. M.; de Léo, O. C. *Estudo de Diagnóstico Ambiental das Comunidades Integrantes do Complexo de Manguinhos*, Projeto de pesquisa desenvolvido na ENSP/Fiocruz submetido ao Programa de Apoio à Pesquisa Estratégica (PAPES VI) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). ENSP/Fiocruz: Rio de Janeiro, 2012.
- ¹⁹Bruno, P. R. A.; Oliveira, R. M.; Carvalho, D. A.; Santos, E. J. A.; Silva, G. Em: *Rede de Pesquisa em Manguinhos: sociedade, gestores e pesquisadores em conexão com o SUS*, Santos, I. S.; Goldstein, R. A., eds.; Editora Hucitec: São Paulo, 2016.
- ²⁰United States Environmental Protection Agency; *Soxhlet Extraction: Method 3540C*, US Government Printing Office: Washington, 1996.
- ²¹United States Environmental Protection Agency; *Solid-phase extraction (SPE): Method 3535a*, US Government Printing Office: Washington, 2007.
- ²²United States Environmental Protection Agency. *Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS): Method 8270d*. US Government Printing Office: Washington, 2007.
- ²³Lattin, J.; Carroll, J. D.; Green, P. E.; *Análise de Dados Multivariados*. São Paulo (SP): Câmara Brasileira do Livro, 1ª Edição, 2011.
- ²⁴Pagano, M.; Gauvreau, K.; *Princípios de Bioestatística*, 2ª Edição, Câmara Brasileira do Livro: São Paulo, , 2006.
- ²⁵Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental; *Lista Holandesa de Valores 6530. Projeto CETESB – GTZ*. CETESB: São Paulo, 1999.
- ²⁶Miot, H. A. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. *Jornal Vascular Brasileiro* **2017**, 16, 88.
- ²⁷Contador, J. L.; Senne, E. L. F. Testes não paramétricos para pequenas amostras de variáveis não categorizadas: um estudo. *Gestão & Produção* **2016**, 23, 588.
- ²⁸Filho, P. A.; Santos, R. V.; Vettore, M. V. Desigualdades socioambientais na ocorrência de cárie dentária na população indígena no Brasil: evidências entre 2000 e 2007. *Revista brasileira de epidemiologia* **2013**, 16, 3. [CrossRef]
- ²⁹Centro de Criação de Imagem Popular. Manguinhos pelo olhar das crianças. Projeto Criança Pequena em Foco, 2015. [Link]

³⁰Centro de Criação de Imagem Popular. Manguinhos e Seus Caminhos. Relatório Final do Projeto Criança Pequena em Foco. Infância e Trânsito em Manguinhos, 2016. [[Link](#)]

³¹Teles, F.; Novais, R.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Instituto Federal da Bahia, 2015. [[Link](#)]

³²Moura, A. C. M.; *Anais VII Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, São Paulo, Brasil, 2009.

³³Mendosa, D. Resenha, *Tempo social* **2011**, 23, 305.