

Avaliação de Risco à Saúde Humana por Exposição a HPAs Encontrados em Poeiras das Ruas de Niterói

Aline Machado de Castro
Estagiária, Engenharia Química, UFRJ

Zuleica Carmen Castilhos
Orientadora, Farmacêutica, D. Sc.

Cristiane Andrade de Lima
Co-orientadora, Engenheira Química, M. Sc.

Resumo

O objetivo do presente trabalho é avaliar o risco à saúde humana causado pela exposição a hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) presentes em poeiras das ruas da cidade de Niterói. Os dezesseis HPAs estudados foram analisados por cromatografia, como descrito por Pereira Netto et al. (2004). A metodologia de avaliação de risco à saúde humana utilizada foi a recomendada pela USEPA (1989). As vias de exposição estudadas foram oral, dérmica e inalatória, aplicadas à população próxima (crianças e adultos). As concentrações de contaminantes no ar foram estimadas utilizando-se o *software* Risc 4. Pela análise dos resultados, observa-se que em nenhum caso estudado o índice de perigo ultrapassou a unidade (valor de referência). Em relação aos riscos causados pelos HPAs cancerígenos, o valor de referência da CETESB (2001) (1×10^{-4}) foi ultrapassado para crianças. As vias que mais contribuíram para o resultado foram a ingestão acidental e o contato dérmico com a poeira contaminada e o contaminante que mais contribuiu foi Benzo(a)pireno.

1. Introdução

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) são compostos que possuem dois ou mais anéis benzênicos condensados em sua estrutura. Eles existem nos estados líquido ou sólido e nenhum deles apresenta ponto de ebulição menor do que 80°C, sob pressão atmosférica normal (API, 2001). A Figura 1 apresenta as estruturas dos 16 HPAs considerados como prioritários, da perspectiva dos efeitos adversos à saúde humana, pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2001), por serem os mais tóxicos e exibirem maior possibilidade de exposição à população humana.

Os HPAs podem ser introduzidos no ambiente a partir de numerosas fontes: os motores de exaustão a gasolina e especialmente os de combustão a diesel, o “alcatrão” da fumaça do cigarro, a superfície dos alimentos chamuscados ou queimados, fumaça da queima de madeira ou carvão, e outros processos de combustão parcial, nos quais o carbono ou combustível não são convertidos em CO ou CO₂ (BAIRD, 2002). Atualmente, diversos órgãos ambientais nacionais e internacionais reconhecem os perigos em potencial da ocorrência dos

HPAs no ambiente. Tais compostos possuem elevada tendência a bioacumulação e são altamente recalcitrantes (NEFF, 1979; BJØRSETH e RAMDAHL, 1985).

Nesse contexto, procura-se relacionar a intensidade da poluição ambiental e os potenciais risco à saúde humana, que pode ser avaliada pela metodologia de avaliação de risco à saúde humana, proposta pela USEPA (1989). Essa metodologia permite expressar o risco à saúde humana como uma estimativa numérica, o que permite estabelecer prioridade de áreas impactadas, assim como a avaliação de técnicas de remediação. Adicionalmente, a metodologia proposta pela US EPA foi desenvolvida para facilitar a população em geral a entender os resultados.

Portanto, o objetivo desse trabalho é estimar riscos potenciais à saúde por exposição a poeiras de rua contaminadas com HPAs, segundo a metodologia proposta pela US EPA.

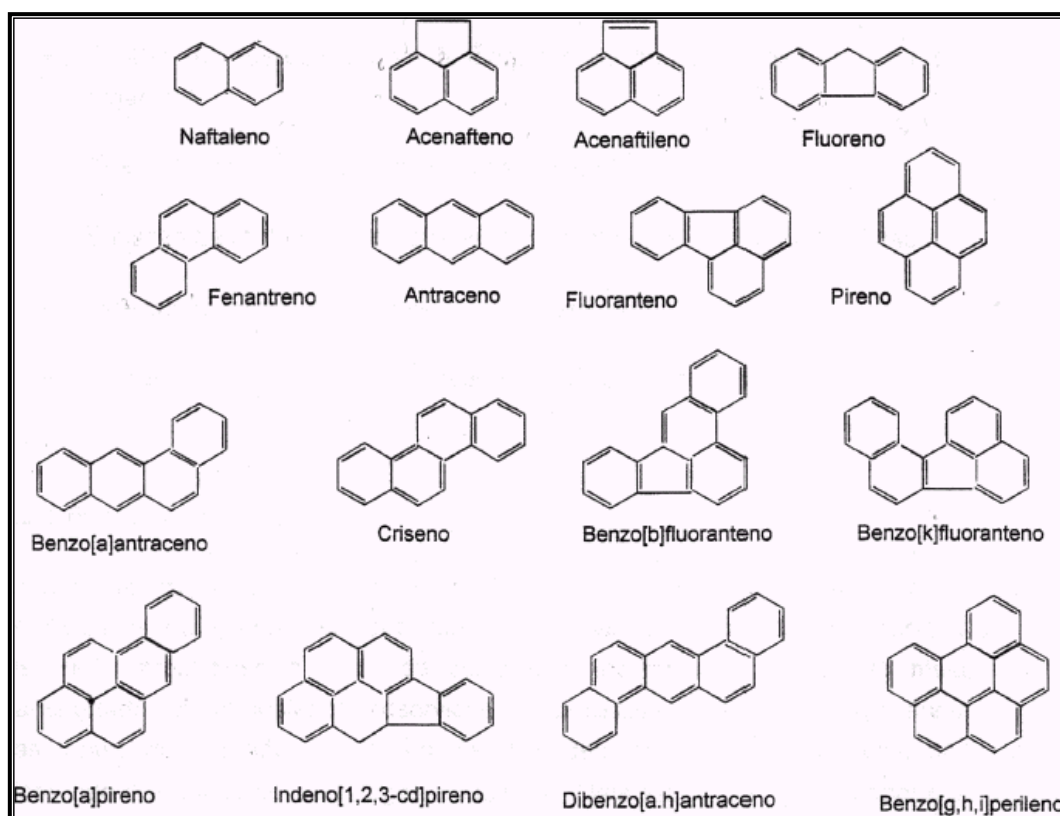


Figura 1: Fórmula estrutural dos 16 HPAs prioritários

2. Metodologia

2.1 Análise dos HPAs

Pereira Netto et al. (2004) reportaram a amostragem assim como a análise dos dezesseis HPAs em estudo: acenaftileno, acenafteno, antraceno, fluoreno, fluoranteno, naftaleno, pireno, fenantreno e benzo(g,h,i)perileno (não classificados pela USEPA como cancerígenos humanos); e benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno,

benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, dibenzo(a,h)antraceno, Indeno(1,2,3-cd), criseno e pireno (classificados como prováveis cancerígenos humanos) que foi realizada utilizando um sistema de cromatografia gasosa e espectrometria de massa.

2.2. Estimativa das Concentrações dos Contaminantes no Ar

Para a modelagem de transporte de contaminantes da poeira para o ar (ambiente externo), partiu-se das concentrações de orgânicos (HPAs) na massa bruta de poeira coletada nas ruas da cidade de Niterói (Pereira Netto et al., 2004).

O modelo utilizado foi o *Outdoor Air Model* disponível no software *Risk Integrated Software for Clean-ups – RISC 4, version 4.03* desenvolvido pela *British Petroleum Company (BP)*. O modelo utiliza um modelo *box* para estimar a concentração na zona de inalação (“breathing zone”) próximo a área contaminada. O *Outdoor Air Model* é um modelo preliminar para estimar o pior caso de concentrações em um local. Assume-se que o receptor encontra-se no limite a sotavento da fonte e que o vento sopra sempre na direção do receptor. Degradação e outros mecanismos de perda (p.ex. fotólise) não são considerados. Este modelo requer que as taxas de emissão de voláteis sejam calculadas por um modelo de emissão a partir do solo ou água subterrânea. Para o caso da poeira de Niterói, foi utilizado o modelo *Johnson and Ettinger*, também disponível no *software*. Uma vez que informações sobre a fonte (poeira), tais como porosidade total, conteúdo de água e densidade, não estavam disponíveis, foram assumidos os valores *default* do programa *RISC 4.03* para o tipo de solo com granulometria fina (argila – *clay*). A Tabela 1 apresenta um sumário dos parâmetros utilizados na modelagem.

Tabela 1: Sumário dos parâmetros utilizados nos modelos *Outdoor Air Model* e *Vapor Model*

Outdoor Air Model		
Parâmetro	Valor	Fonte
Velocidade do Vento (m/s)	4,5	
Comprimento do <i>box</i> (m)	10	Valor <i>default</i> para o comprimento do <i>box</i>
Altura do <i>box</i> (m)	1,7	Altura de um adulto – assumida
Informações sobre o resíduo		
Parâmetros	Valor	Fonte
Granulometria	<i>Clay</i>	Assumido
Porosidade total (%)	45	<i>Default value</i> para granulometria <i>clay</i> (RISC 4)
Conteúdo de água (%)	40	<i>Default value</i> para granulometria <i>clay</i> (RISC 4)
Fração de carbono orgânico na poeira (%)	2	<i>Default value</i> para granulometria <i>clay</i> (RISC 4)
Densidade total (g/cm ³)	1,7	<i>Default value</i> para granulometria <i>clay</i> (RISC 4)
Distância da poeira até a superfície (m)	0,01	Assumido – mais próximo da superfície

2.3 Metodologia de Avaliação de Risco à Saúde Humana

A avaliação de risco à saúde humana (US EPA, 1989) considerou crianças e adultos que habitam a população próxima ao local de estudo e três vias de exposição: ingestão, inalação e contato dérmico.

A metodologia de avaliação de risco da USEPA é composta de quatro estágios:

1. Elaboração de um modelo conceitual qualitativo, que considera fontes e poluentes potenciais, seus transportes e transferências no compartimento ambiental, as vias de exposição e efeitos tóxicos críticos;
2. Avaliação da exposição, que envolve a estimativa das doses administradas dos contaminantes por receptores humanos para cada rota de exposição identificada na avaliação quantitativa (estágio 1);
3. Avaliação tóxica, que envolve a classificação dos efeitos tóxicos potenciais dos contaminantes, principalmente os carcinogênicos e não carcinogênicos; e
4. Caracterização dos riscos, que sumariza e combina os dados de avaliação da toxicidade e exposição em relação a valores de referências, tanto em expressões quantitativas quanto em avaliações qualitativas. Os riscos de referência são risco que podem existir se não forem aplicados controles nos locais estudados.

A determinação das doses de ingestão de contaminantes por ingestão, contato dérmico e inalação com a poeira, considerando uma exposição crônica, são mostradas nas Equações 1, 2 e 3, respectivamente (ATSDR, 1989, com modificações).

$$IGD = \frac{C * IGR * AF * EF * 10^{-3}}{BW} \quad (1)$$

$$DCD = \frac{C * A * FB * EF}{BW} \quad (2)$$

$$IND = \frac{C * INR * AF * EF * 10^{-3}}{BW} \quad (3)$$

Onde:

IGD: Dose de exposição aos contaminantes por ingestão (mg/kg/dia)

DCD: Dose de exposição aos contaminantes por contato dérmico (mg/kg/dia)

IND: Dose de exposição aos contaminante por inalação (mg/kg/dia)

C: Concentração de contaminantes (mg/kg para ingestão e contato dérmico; mg/m³ para inalação)

IGR: Taxa de ingestão de poeira (1,0 kg/dia para crianças e 0,5 kg/dia para adultos)

AF: Fator de absorção de poeira (adimensional; 1, para crianças e adultos)

EF = Frequência de exposição à poeira (365 dias/ano para crianças e adultos)

BW = Peso corporal (15kg para crianças, 70kg para adultos)

A: Total de poeira aderida (0,00525 kg/dia para crianças; 0,0094 kg/dia para adultos) (ATSDR, 1989)

FB: Fator de biodisponibilidade (adimensional; 0,13, para crianças e adultos) (USEPA, 2001)

INR: Taxa de inalação de poeira (8,7 m³/dia para crianças e 13,25 m³/dia para adultos) (USEPA, 1997)

As Equações 4 e 5 mostram o cálculo do índice de perigo (IP, adimensional) e do risco (R, adimensional) proporcionados pela exposição aos HPAs não cancerígenos e cancerígenos, respectivamente, onde IR são as doses de exposição a cada contaminante (seja por ingestão, IGD; contato dérmico, DCD; ou inalação, IND); RfD,

as doses de referência para os compostos não cancerígenos; FI, os fatores de inclinação (*slope factors*), que representam a probabilidade de um contaminante causar câncer (USEPA, 2001) e n é o número de contaminantes avaliados.

$$IP = \sum_{i=1}^n \frac{IR_i}{RfD_i} \quad (4)$$

$$R = \sum_{i=1}^n IR_i * FI_i \quad (5)$$

Para os efeitos não cancerígenos, caso a dose calculada seja maior que a dose de referência. Resultará em um IP maior que 1, indicando que a exposição prevista provavelmente causará riscos potenciais à saúde humana (CETESB, 2001). Por outro lado, o risco (R) é expresso como a probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer, o valor máximo permitido pela CETESB (2001) é de 1×10^{-4} , ou seja, permite a probabilidade de que um indivíduo em cada dez mil pessoas desenvolva câncer em decorrência desta fonte de exposição.

3. Resultados e Discussão

Para o cálculo das doses de exposição foram utilizados os teores máximos de HPAs detectados na poeira (Pereira Netto et al., 2004). Os valores utilizados para os cálculos via ingestão e contato dérmico, bem como as concentrações estimadas de contaminantes no ar estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Concentrações dos HPAs medidas na poeira e estimadas no ar

Parâmetros	Concentração máxima medida na massa de resíduos (mg/kg) (Pereira Netto et al., 2004)	Concentração estimada no ar (mg/m ³) pelos Modelos Outdoor Air Model e Johnson and Ettinger
Acenafteno	2,10E-02	2,69E-08
Acenaftileno	2,30E-02	4,11E-08
Antraceno	4,10E-02	4,00E-09
Benzo(a)antraceno	3,94E-01	2,64E-10
Benzo(a)pireno	3,13E-01	3,07E-11
Benzo(g,h,i)perileno	4,62E-01	1,88E-12
Benzo(k)fluoranteno	7,20E-01	2,73E11
Benzo(b)fluoranteno	5,25E-01	1,56E-09
Criseno	2,10E-01	1,74E-09
Dibenzo(a,h)antraceno	8,20E-02	0,00E-00
Fenantreno	2,26E-01	2,80E-08
Fluoranteno	6,17E-01	3,89E-09
Fluoreno	1,40E-02	3,22E-09
Indeno(1,2,3-cd)pireno	2,53E-01	4,45E-12
Naftaleno	2,97E-01	5,86E-06
Pireno	4,70E-01	1,87E-09

Pode-se observar que não há como apontar o contaminante presente em maior quantidade: Os 16 HPAS avaliados estão em concentrações que diferem muito pouco.

De posse dos valores das concentrações de contaminantes na poeira e no ar, os valores dos índices de perigo (contaminantes não cancerígenos) e risco (contaminantes cancerígenos) foram calculados e a contribuição de cada contaminante está mostrada na Tabela 3.

Tabela 3: Contribuição de cada contaminante para os índices de perigo e risco

Por contaminante:	Cancerígenos		Não cancerígenos	
	criança	adulto	criança	adulto
Naftaleno (N)			1,69E-03	3,73E-04
Acenafteno (Ace)			3,93E-05	8,63E-06
Acenaftileno (Acenaft)			6,47E-05	1,42E-05
Fluoreno (Flu)			3,93E-05	8,61E-06
Fenantreno (Fen)			6,34E-04	1,39E-04
Antraceno (Ant)			1,53E-05	3,37E-06
Fluoranteno (Ft)			1,73E-03	3,79E-04
Pireno (Pi)			1,76E-03	3,85E-04
Benzo(ghi)perileno (BghiPe)			1,73E-03	3,79E-04
Benzo(a)Antraceno (BaA)	3,01E-05	6,25E-06		
Criseno (Cri)	1,60E-07	3,33E-08		
Benzo(b)Fluoranteno (BbFt)	4,01E-05	8,33E-06		
Benzo(k)Fluoranteno (BkFt)	5,50E-06	1,14E-06		
Benzo(a)Pireno (BaPi)	2,39E-04	4,97E-05		
Indeno (1,2,3-cd)Pireno (I-Pi)	2,95E-05	5,10E-06		
Dibenzo(a,h)Antraceno (DbahA)	6,27E-05	1,30E-05		

Dentre os contaminantes não cancerígenos avaliados, destacam-se o naftaleno, fluoranteno, pireno e benzo(g,h,i)perileno como os principais contribuintes para o valor do índice de perigo. Visto que as concentrações dos contaminantes na poeira não diferiram muito, os quatro contaminantes citados proporcionaram quocientes de perigo maiores por possuírem doses de referência menores, ou seja, apresentam maior nível de periculosidade a saúde das pessoas a eles expostas.

Em relação aos contaminantes cancerígenos, os que mais contribuíram para o valor total de risco foram o benzo(a)pireno e o dibenzo(a,h)antraceno. Novamente a explicação não se baseia na maior concentração desses contaminantes na poeira, e sim em seus maiores fatores de inclinação derivados, que indicam sua maior periculosidade.

Na Tabela 4 está mostrada a contribuição de cada das vias para o resultado final do risco.

Tabela 4: Comparação dos índices de perigo e risco por via de exposição

Por via:	Cancerígenos		Não cancerígenos	
	criança	adulto	criança	adulto
Ingestão	2,63E-04	2,82E-05	4,56E-03	4,89E-04
Contato dérmico	1,44E-04	5,53E-05	3,11E-03	1,19E-03
Inalação	2,63E-13	8,57E-14	2,46E-05	8,02E-06
Total	4,07E-04	8,35E-05	7,70E-03	1,69E-03

Observa-se que o único caso em que foi constatada a probabilidade de ocorrência de efeitos a saúde fora dos limites considerados aceitáveis foi o de efeitos cancerígenos para crianças.

Em relação à contribuição de cada via de exposição para o valor total de risco e índice de perigo, observa-se que a inalação foi a via que menos contribuiu para o valor final, possivelmente devido à diluição que as concentrações de contaminantes sofreram ao se converter os valores de mg/kg para mg/m³. Embora essa etapa tenda a subestimar os valores de risco proporcionados por cada contaminante (o que não é desejado, pois trabalhamos com a metodologia *Worst Case*, da USEPA), ela se faz necessária quando se deseja aplicar uma avaliação abrangente do risco à saúde humana, levando-se em conta as principais vias, que é o caso do presente estudo.

Finalmente, conclui-se que a fonte de exposição a contaminantes estudada mostra oferecer riscos à saúde da população próxima, em especial aos contaminantes cancerígenos para as crianças, que têm maior contato com a poeira, principalmente devido a sua menor estatura, mais próxima ao solo (local onde as poeiras se encontram em maior concentração). Portanto, sugere-se um monitoramento constante da qualidade do ar da região metropolitana de Niterói, um controle das emissões veiculares bem como das industriais, reduzindo o nível de emissão de contaminantes danosos a saúde humana para níveis considerados aceitáveis.

4. Agradecimentos

Ao MCT/CETEM e CNPq pelos apoios institucional e financeiro; às pesquisadoras Ana Paula de Castro Rodrigues e Alinne dos Santos Ramos pela imensa colaboração e amizade; e ao geólogo Manollo Barros por sua atenção e ajuda na utilização do *software* RISC 4.

5. Referências Bibliográficas

API (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE). Risk-based Methodologies or Evaluating Petroleum Hydrocarbons Impacts at Oil and Natural Gas E&P Sites. API Publication Number 4709. 2001.

ATSDR. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Appendix D – Estimations of Exposure. Health Assessment Guidance. 1989.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª Ed. Ed. Bookman. Porto Alegre, RS. 2002.

BJØRSETH, A. & RANDAHL, T. Sources and Emissions of PAH. In: Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. V 2. Emission Sources and Recent Progress in Analytical Chemistry. Marcel Dekker. USA. P.1-20.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) Avaliação de Risco à Saúde Humana. In: Manual de Gerenciamento de Águas Contaminadas. Projeto CETESB-GTZ. 2001. Cap 9.

NEFF, J. M. **Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment – Sources, Fates and Biological Effects**. Applied Science Publishers LTD. London. 261p.

PEREIRA NETTO, A. D.; CUNHA, I. F.; MUNIZ, F. C.; REGO, E. C. P. Polycyclic aromatic hydrocarbons in street dust of Niterói city, RJ, Brazil. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.** v.72. p.829-835, 2004.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Human Health Evaluation Manual: Part A, July, 1989.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Exposure Factors Handbook. US EPA Region III, August, 1997.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites – Peer Review Draft. Washington DC. 2001.