

AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA AO BENZENO NA ÁREA METROPOLITANA DO PORTO

Tânia Fontes

Aluna de Doutoramento da U Aveiro / UFP

Colaboradora do CIAGEB, Faculdade de Ciência e Tecnologia - UFP

Bolseira de Investigação do Instituto de Engenharia Biomédica

tania@ufp.edu.pt

Nelson Barros

Professor Associado

Centro de Investigação em Alterações Globais,

CIAGEB, Faculdade de Ciência e Tecnologia - UFP

nelson@ufp.edu.pt

COMO REFERENCIAR ESTE ARTIGO: FONTES, Tânia ; BARROS, Nelson. - Avaliação da exposição atmosférica ao benzeno na Área Metropolitana do Porto. **Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia**. Porto : Edições Universidade Fernando Pessoa. ISSN 1646-0499. 6 (2009) 96-109.

RESUMO

No âmbito de um trabalho de investigação mais vasto, onde se pretende avaliar a influência dos níveis de benzeno na saúde pública da Área Metropolitana do Porto, foi desenvolvida e aplicada uma metodologia para estimar a exposição da população a este poluente. A análise dos resultados obtidos indica que, para além das concentrações de benzeno registadas no concelho de residência, as deslocações pendulares para outros concelhos, bem como as concentrações de benzeno aí encontradas, condiciona de forma definitiva o resultado final da estimativa da exposição da população a este poluente.

PALAVRAS-CHAVE

Exposição, benzeno, qualidade do ar, movimentos pendulares

ABSTRACT

As part of a larger research project to assess the influence of benzene on public health of Oporto Metropolitan Area, a methodology to estimate the population exposure to this pollutant has been developed and applied. The benzene concentrations recorded in the municipality of residence and the number of pendular movements, have a major influence on the estimation of the population exposure to this pollutant.

KEYWORDS

Exposition, benzene, air quality, pendular movements

1. INTRODUÇÃO

O benzeno (C_6H_6) foi o primeiro poluente cancerígeno a ser regulamentado pelas directivas de qualidade do ar exterior da União Europeia, no ano 2000, tendo sido estabelecido o valor limite anual de $5 \mu g \cdot m^{-3}$ a atingir até 1 de Janeiro de 2010 (Directiva 2008/50/CE). Além disso, recentemente, o projecto INDEX desenvolvido pela União Europeia definiu-o como poluente de acção prioritária (Koistinen *et al.*, 2008). Porém, a avaliação da qualidade do ar de um ambiente não consiste unicamente em identificar os locais e os períodos em que os níveis de qualidade do ar são baixos, mas sim perceber, para uma qualidade do ar baixa, como é que a saúde das populações é afectada. Uma das formas de avaliar este risco é através da quantificação da exposição, pelo que o diagnóstico das concentrações deste poluente, assim como o desenvolvimento de modelos para avaliar a exposição populacional têm sido identificados como áreas prioritárias de investigação (SCTEE, 2003, Koistinen *et al.*, 2008).

A avaliação da exposição é um passo importante no processo de estimativa da entrada de agentes contaminantes no corpo humano, sendo determinada pela sua concentração e pelos hábitos ao longo da vida (WHO, 1999). O termo exposição varia de acordo com o contexto. A exposição pessoal refere-se à concentração a que um indivíduo está sujeito num determinado local e período de tempo. Por outro lado, a exposição populacional refere-se à exposição média da população a um determinado agente contaminante (WHO, 1999).

Na avaliação da exposição é essencial a selecção do poluente em análise, o tipo de agente (biológico, químico, físico, etc.), as fontes (antropogénicas / não antropogénicas, em área / pontuais, etc.), o tipo de transporte (ar, água, etc.), as rotas de exposição (inalação, ingestão, etc.), a escala geográfica (global, regional, local, etc.), a escala temporal (passado, presente, etc.), a população exposta (população geral, sub-grupos), e o tipo de exposição (ocupacional, residencial, etc.). O efeito da exposição a poluentes atmosféricos na saúde depende ainda do tipo e toxicidade do poluente, magnitude, duração e frequência da exposição (WHO, 1999). Assim, em estudos de exposição considera-se que, ao longo do período em estudo, um indivíduo entra em contacto com ambientes diferentes que, pelas suas características, apresentam concentrações distintas do poluente: microambientes. Geralmente assume-se que a concentração é constante ao longo do tempo para um dado microambiente.

Uma aproximação comum para a determinação da exposição consiste na definição de uma matriz de actividades e microambientes associados. Contudo, além de ser importante conhecer os microambientes, a sua variabilidade temporal e espacial também deverá ser tida em conta. Os indivíduos não estão uniformemente distribuídos no espaço e no tempo, sendo os seus movimentos função das suas rotinas diárias. Assim, a exposição irá variar consoante o tipo de microambiente frequentado, bem como o período de exposição, nomeadamente hora do dia, dia da semana e estação do ano (Elliot *et al.*, 2001). Deverá ainda ser tido em conta a escala temporal, dado que a doença pode necessitar de prolongados períodos de exposição para se manifestar, ou ter longos períodos de latência ou incubação (Gregg, 2008). Por outro lado, a concentração de poluentes em ambientes internos não é idêntica à do ambiente externo. Os sistemas de ventilação filtram determinados poluentes, mas em certos casos, como o C_6H_6 , as fontes internas de poluentes, como por exemplo, materiais de construção, actividades humanas, como fumo de tabaco, confecção de alimentos, aquecimento, etc., podem aumentar a sua concentração (Yu e Crump, 1998; Wallace, 1989; Schneider *et al.*, 1999, Etkin, 1996). Outra fonte de variabilidade das concentrações é a variação das condições meteorológicas ao longo do ano e que afectam os níveis de emissão de

diversas fontes, bem como a sua dispersão e transporte na atmosfera. Assim, nas suas rotinas diárias, as pessoas estão em contacto com poluentes em diversos microambientes, pelo que a diferença da composição das diferentes fontes, internas e externas, e a sua contribuição relativa para a exposição pessoal total deve ser reconhecida uma vez que diferentes períodos e locais de actividade conduzem a exposições pessoais diferentes (WHO, 1999).

Nos próximos sub-capítulos são apresentados os métodos para avaliação da exposição ao C_6H_6 , bem como a metodologia adoptada e respectivos resultados obtidos para a Área Metropolitana do Porto (AMP).

2. MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

A avaliação da exposição é baseada na caracterização dos processos de contacto com o poluente. O cenário de exposição permite auxiliar o processo de estimativa da exposição sendo definido como a combinação de factos, considerações, e inferências que definem uma situação onde pode ocorrer exposição (WHO/IPCS, 2004). A caracterização dos cenários de exposição pode ser dividida em três tipos (Heinemeyer, 2003, *In* Heinemeyer, 2008): utilização, caracteriza como é que o produto químico está presente num produto e como é que esse produto é usado; disposição, descreve a forma como um poluente é libertado e distribuído num dado espaço; comportamento, descreve como é que as pessoas entram em contacto com os poluentes.

A exposição pode ser avaliada por métodos directos ou indirectos (WHO/IPCS, 2005). A avaliação por métodos directos, geralmente associada à estimativa da exposição pessoal, inclui a avaliação pessoal através da medição directa por recurso a difusores passivos ou por recurso à análise de marcadores biológicos ou outro tipo de sensores pessoais. No caso da avaliação da exposição por métodos indirectos, geralmente associada à estimativa da exposição populacional, esta inclui a estimativa da quantidade de população exposta, a magnitude da concentração, e a duração da exposição. Os métodos directos são geralmente mais precisos do que os métodos indirectos, mas também são mais demorados, dispendiosos e impraticáveis para implementação em estudos abrangendo vastas áreas populacionais. Além disso, através da modelação é possível produzir resultados para o passado, presente ou futuro, pelo que o recurso à modelação se apresenta, nestas situações, como a melhor alternativa.

Um modelo de exposição é uma plataforma desenhada para reflectir os processos da exposição humana ao “mundo real”: cenário de exposição. Essa necessidade de traduzir a realidade torna a modelação da exposição quase sempre complexa, reflectindo-se na diversidade de modelos de exposição publicados (WHO/IPCS, 2005) como, por exemplo, o modelo BEAM – *Benzene Exposure Assessment Model* (USEPA, 1993, *in* Baker *et al.*, 2001), o modelo BEADS - *Benzene Exposure and Absorbed Dose Simulation Model* (Macintosh *et al.*, 1995 *in* Baker *et al.*, 2001), o modelo *Regional Human Exposure* – REHEX (Fruin *et al.*, 2001), *Stochastic Human Exposure and Dose Simulation model for Air Toxics* - SHEDS (Graham e Burke, 2004) entre outros (Jensen, 1999; Carletty e Romano, 2002; Tchepel *et al.*, 2007). Todos estes modelos permitem estimar a exposição ao C_6H_6 .

Para estimar a exposição média da população E ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$), a partir da concentração de poluentes C ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), num dado microambiente J , para um determinado período de tempo t (h), aplicando o método indirecto, têm-se:

$$E = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_j t_{ij} \quad [1]$$

A precisão destes modelos depende do número de microambientes necessários para registar a variação da concentração. Se as actividades ou concentrações não variarem muito ao longo dos diferentes lugares que o indivíduo visita ao longo do dia, então um número reduzido de microambientes é suficiente para modelar a exposição (WHO, 1999). Por outro lado, a bibliografia sugere ainda a criação de diversos cenários dentro de cada microambiente.

Várias formas de classificação dos modelos surgem na bibliografia. Contudo parece haver um consenso para classificar os modelos de exposição em: 1) mecanicistas ou empíricos; e 2) determinísticos ou estocásticos. Modelos complexos podem combinar aspectos mecanicistas e empíricos, estes modelos designam-se de modelos híbridos (WHO/IPCS, 2005). A Tabela 1 apresenta as principais características destes grupos de modelos.

Tabela 1. Tipos de modelos de exposição (WHO/IPCS, 2005).

	Mecanicistas	Empíricos
Determinísticos	Construções matemáticas de processos físico-químicos que calculam saídas fixas para um conjunto fixo de entradas	Modelos estatísticos baseados em medições de valores de entrada e saídas (ex: modelos de regressão que relacionam concentrações atmosféricas e níveis de um poluente no sangue ou concentrações ambientais de um poluente com exposições individuais)
Estocásticos	Construções matemáticas de processos físico-químicos que calculam gamas ou distribuições de densidade de probabilidade de uma saída de um modelo de exposição (ex.: estimativa de exposições individuais para uma população em estudo)	Baseados em modelos de regressão, onde as variáveis e coeficientes do modelo são definidos por distribuições de probabilidade, representando a variabilidade e/ou incerteza nas entradas e parâmetros do modelo)

Os modelos mecanicistas simulam o comportamento de um agente no mundo real e no organismo alvo descrevendo o seu transporte e transformações físico-químicas através de equações matemáticas. Os resultados destes modelos podem ser estimados, mesmo quando não estão disponíveis medições das variáveis, como por exemplo para avaliação da exposição de situações passadas ou futuras (WHO/IPCS, 2005).

Os modelos empíricos são representações numéricas das relações entre as variáveis de entrada e saída baseadas noutras medições, não sendo necessário nenhuma relação causal entre as variáveis modeladas. Um exemplo deste tipo de modelos é o modelo de regressão entre a qualidade do ar ambiente e a concentração no ar interior ou a exposição pessoal (WHO, 1999):

$$C_{ar\ interior} = \beta_0 + \beta_1 C_{ar\ exterior} \quad [2]$$

Onde: C = Concentração ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$); β_0, β_1 = Constantes de ajuste.

Os modelos empíricos dependem da especificidade dos dados para os quais são aplicados, pelo que se torna incerta a aplicação a outros sistemas, nomeadamente no que respeita a outras localizações, populações ou períodos de tempo. Enquanto os modelos mecanicistas

necessitam de longos algoritmos e cálculos para avaliar por exemplo, como é que o tempo dispendido no tráfego afecta a exposição, esta relação, dado um conjunto de dados, pode ser facilmente descrita usando um modelo empírico (WHO/IPCS, 2005).

Um modelo determinístico é um modelo cuja variável é dada por valores constantes. Assim, o sistema é, para qualquer período, totalmente definido pelas condições iniciais e de fronteira. Por outro lado, um modelo estocástico tem em consideração a presença de efeitos aleatórios e prevê a probabilidade de ocorrência de exposição numa população. Para os modelos estocásticos simples, as soluções podem ser resolvidas analiticamente. Contudo, modelos mais complexos recorrem frequentemente a simulações de Monte Carlo para prever a densidade de distribuição. No fundo, um modelo determinístico representa um único “ciclo” de um modelo estocástico. Contudo, qualquer modelo pode ser usado na forma determinística ou estocástica. Isto é, se a entrada do modelo variar aleatoriamente, então o modelo é definido por uma densidade de distribuição e o modelo é estocástico; caso contrário ele é definido como determinístico (WHO/IPCS, 2005).

Na modelação da exposição são muitas as incertezas a ter em conta. Devido à ausência de informação, um número considerável de simplificações são impostas podendo comprometer a utilidade do estudo (Elliot *et al.*, 2001). A qualidade da estimativa da exposição pode estar afectada por efeitos aleatórios e erros sistemáticos. Os efeitos aleatórios podem reduzir-se, seleccionando um modelo mais apropriado e melhorando a recolha dos dados. O segundo tipo de erro respeita ao processo de validação uma vez que a comparação entre os resultados dos modelos e as medidas efectuadas não permite validar o modelo conceptual ou os algoritmos devido à variabilidade dos dados. Assim, WHO/IPCS (2005) propõe três fases para avaliação dos modelos:

- Validação do modelo conceptual: as relações entre os dados de entrada e saída do modelo devem ser reais e a sua natureza, forma ou relação deve ser conhecida;
- A implementação do modelo deve seguir o modelo conceptual: a definição das variáveis de entrada e saída do modelo devem descrever os eventos do modelo conceptual, e os algoritmos que descrevem essas relações devem traduzir o conhecimento que existe dessas relações;
- Avaliação da aplicabilidade do modelo a um conjunto de problemas: deve avaliar a validade dos dados de entrada na descrição do sistema em estudo.

Contudo, a caracterização da magnitude e incertezas da exposição é um processo complexo. Walker *et al.* (2001), num estudo de modelação da exposição do C_6H_6 atmosférico efectuado por sete especialistas na área, mostra que a caracterização da modelação da exposição a este poluente é um processo de julgamento subjectivo. Este artigo demonstra que a utilização de uma avaliação subjectiva coerente pode ser usada de forma ilícita para a avaliação da exposição pelo que a interpretação dos resultados deve ser efectuada de forma cautelosa.

3. METODOLOGIA

No presente estudo, foi desenvolvido um modelo empírico uma vez que a complexidade e exigência de um elevado número de dados necessários para a implementação dos modelos mecanicistas, não disponíveis para a AMP, limita a sua aplicabilidade. Assim, seleccionou-se um modelo empírico determinístico, assumindo-se que as variações aleatórias não são im-

portantes para a determinação da média anual e, como tal, não justificam a implementação de modelos estocásticos mais complexos.

Na AMP, os movimentos pendulares durante os dias úteis assumem particular importância (Figura 1). A cidade do Porto funciona como principal centro polarizador de emprego oferecendo cerca de 200 000 postos de trabalho, dos quais apenas 83 000 correspondem a residentes na cidade (Oliveira, 2001). Segundo esta fonte, são realizadas 3 milhões de viagens na AMP diariamente e mais de um terço têm origem no Porto. Cerca de 250 000 têm como motivo a deslocação ao trabalho, 76 000 deslocação ao local de estudo, 480 000 ao domicílio e 350 000 outros motivos, designadamente o lazer. Desta forma, para avaliação da exposição na AMP, considerou-se dois períodos distintos: os dias úteis e o fim-de-semana.

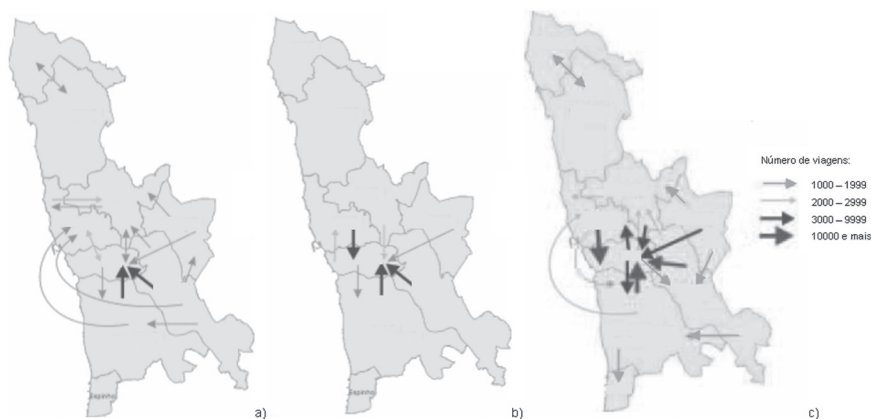


Fig. 1. Principais fluxos casa-trabalho interconcelhos na AMP da população residente empregada na: a) indústria; b) administração pública; c) serviços mercantis (INE, 2003).

Para a estimativa das deslocações pendulares durante os dias úteis, usaram-se as matrizes de origem-destino entre os concelhos da AMP publicadas pelo INE no Inquérito à Mobilidade realizado à população da AMP. Assim, em termos de viagens de pessoas, considerou-se a proporção de população residente que trabalha ou estuda fora do município (INE) e matriz origem-destino do total das viagens para os restantes concelhos da AMP (INE, 2002).

Como se observa na Figura 1, a população apresenta diferentes rotinas diárias segundo diferentes factores, nomeadamente o exercício de uma actividade profissional, pelo que se torna fundamental definir grupos e conhecer as suas rotinas típicas. O Inquérito de Ocupação do Tempo à população portuguesa, publica matrizes de ocupação do tempo para três categorias populacionais: população empregada, população desempregada e população inactiva. Por outro lado, a WHO (1999) apresenta uma distribuição da ocupação do tempo para a população doméstica, estudantes e reformados. Assim, consideraram-se, para os dias da semana, seis grupos populacionais: população empregada (*G1*), população desempregada (*G2*), estudantes (*G3*), reformados (*G4*), população doméstica (*G5*), e outros inactivos (*G6*). Em relação ao fim-de-semana, o INE (2001), refere apenas que:

“o ritmo da população empregada é bastante diferente ao fim-de-semana, (...) marcado pelos (...) trabalhos domésticos, no caso das mulheres, e pelo lazer, no caso dos homens”.

No entanto, não são apresentados valores típicos da ocupação do tempo para este período. Assim, considerou-se que ao fim-de-semana, a totalidade da população residente (GT) permanece, tendencialmente, no concelho de residência e a sua rotina é semelhante à da população inactiva.

A análise das rotinas de cada um dos grupos populacionais anteriormente considerados permite identificar o período e a duração da permanência em sete microambientes distintos: actividades de lazer, habitação, trabalho, escola, lojas, transportes e postos de abastecimento de combustível. No caso dos transportes, teve-se em conta o tipo de transporte: a pé, transportes públicos e carro. Dada a ausência de informação relativa às deslocações, realizou-se uma análise com base nos perfis de actividade publicados pelo Inquérito à Ocupação do Tempo (INE, 2001). Considerou-se ainda que os utilizadores de transporte privado despendem semanalmente cerca de 2 minutos para abastecimento de combustível automóvel (Duarte-Davidson *et al.*, 2001).

No que respeita à estimativa dos valores de concentração exterior de C_6H_6 na AMP, usou-se o modelo TAPM (Hurley, 2008). As concentrações foram estimadas para o ano de 1991 (Figura 2), com o objectivo de, em estudos futuros, relacionar a exposição deste poluente com a taxa de incidência actual de determinadas patologias.

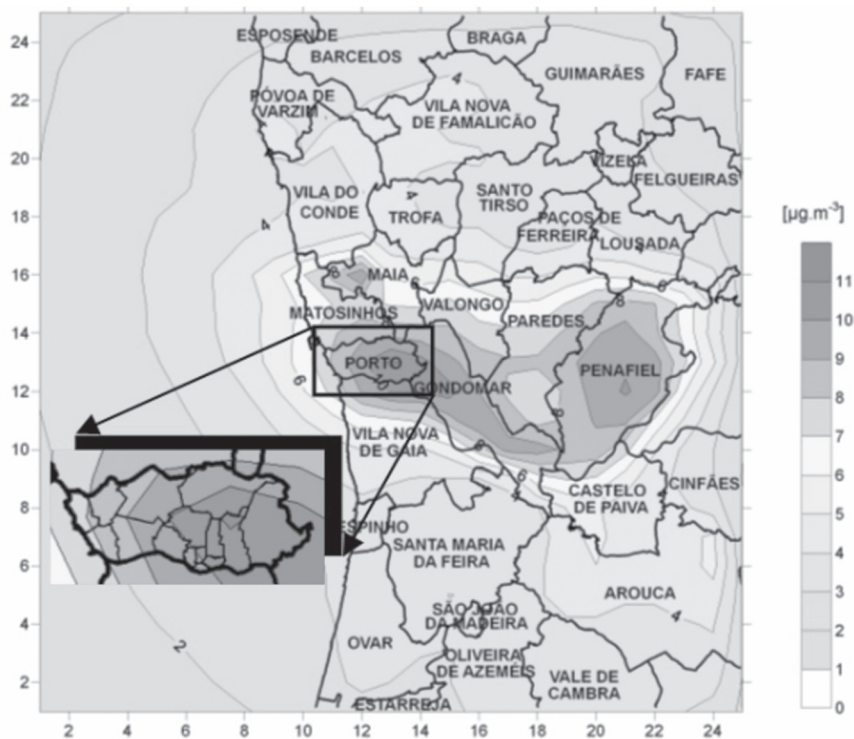


Fig. 2. Concentração média anual de C_6H_6 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) no domínio de estudo em 1991.

Os valores de concentração exterior, usados na estimativa da exposição, correspondem a um valor médio anual estimado, por concelho, para cada hora do dia (0-23h). Para a obtenção destes valores médios por concelho, usou-se a ferramenta de sistemas de informação geográfica (ArcGIS), considerando a matriz de resultados da aplicação do modelo de dispersão TAPM, para cada hora, e a contribuição parcial de cada célula da matriz de resultados do modelo para o concelho em causa (Figura 3).

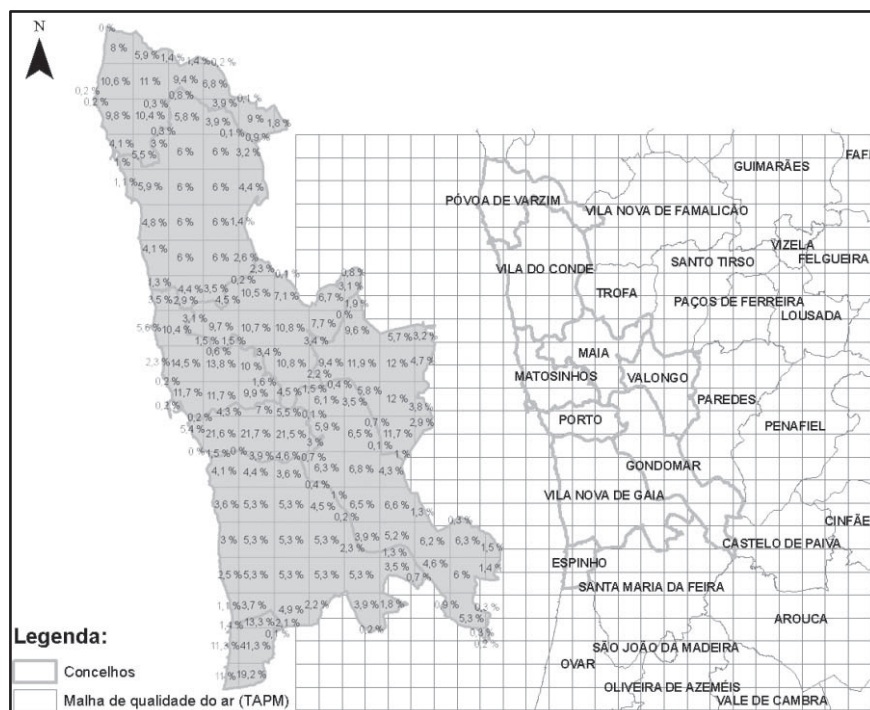


Fig. 3. Malha de cálculo da modelação de qualidade do ar, e contribuição percentual de cada célula da malha para a estimativa da concentração média de C_6H_6 por concelho.

As concentrações em cada um dos microambientes considerados anteriormente, para o domínio e período em estudo, foram efectuadas com base na concentração exterior média anual em base horária e numa estimativa empírica que define a relação entre a qualidade do ar interior / exterior para cada microambiente considerado. Dado que não se dispõe de dados medidos para os microambientes definidos, a relação empírica foi estabelecida com base em valores obtidos pela pesquisa bibliográfica. Esta relação foi estimada a partir dos resultados obtidos pelo projecto PEOPLE em 2002 para a cidade de Lisboa (PEOPLE, 2003), por se considerar que as características construtivas desta cidade, nomeadamente no que respeita ao tipo de isolamento e caixilharia dos edifícios, tipo de hábitos e fontes interiores de poluentes, se aproximariam às da AMP. As concentrações consideradas foram: $3,8 \mu\text{g.m}^{-3}$ no ar ambiente exterior (Ballesta *et al.*, 2006), $3,5 \mu\text{g.m}^{-3}$ em habitações de não fumadores, $5,6 \mu\text{g.m}^{-3}$ no trabalho, $4,2 \mu\text{g.m}^{-3}$ em escolas, $1,6 \mu\text{g.m}^{-3}$ em lojas, $4,4 \mu\text{g.m}^{-3}$ em deslocações a pé, $5,4 \mu\text{g.m}^{-3}$ em deslocações de automóvel, $9,2 \mu\text{g.m}^{-3}$ em deslocações de autocarro, e $5,7 \mu\text{g.m}^{-3}$ em deslocações de metro (PEOPLE, 2003). Em relação à exposição durante o perí-

odo de abastecimento de combustível considerou-se a concentração média de $3709 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Duarte-Davidson *et al.*, 2001)

Dado o fumo do tabaco ser uma das principais fontes de exposição ao C_6H_6 atmosférico, e não ter sido monitorizado em habitações no âmbito do projecto PEOPLE em Lisboa, foi calculada a concentração adicional em habitações usando a metodologia definida em Wallace *et al.*, (1987). Assumiu-se que cada cigarro têm uma concentração de C_6H_6 de $250 \mu\text{g}\cdot\text{cigarro}^{-1}$ (Wallace *et al.*, 1987), que um fumador permanece em casa acordado cerca de 5 horas e fuma em média 1 cigarro. h^{-1} (16 cigarros por dia divididos por 16 horas acordado), (EU, 2007), o volume médio de uma habitação em Portugal é de 259 m^3 ($18,5 \text{ m}^2 \times 2,8 \text{ m} \times 5$ divisões) (INE, 2007), o coeficiente de renovação do ar é de uma vez por hora, e o factor de mistura varia entre 0,1 para ventilação natural e 0,5 para ventilação mecânica (Wallace *et al.*, 1987). Assim, a concentração adicional de C_6H_6 esperada varia entre 1,0 e $5,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, estando dentro da gama de 1,4 a $6,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ registados nos Estados Unidos (Wallace *et al.*, 1987).

Para a avaliação da exposição da população residente na AMP ao C_6H_6 atmosférico, aplicou-se a equação [2]. Com base na metodologia descrita e sintetizada na Figura 4, estimou-se a exposição média anual ao C_6H_6 , por habitante, indexado ao seu concelho de residência. De modo a aumentar a desagregação espacial deste resultado, efectuou-se um ajuste deste valor, tendo em conta as diferenças entre os dias úteis e o fim-de-semana dos diferentes grupos populacionais considerados e com base na distribuição desses mesmos grupos por freguesia:

$$E_{\text{Exposição}} = \left[(E^{\circ} P)_{G1} + (E^{\circ} P)_{G2} + (E^{\circ} P)_{G3} + (E^{\circ} P)_{G4} + (E^{\circ} P)_{G5} + (E^{\circ} P)_{G6} \right] \cdot 5 + (E^{\circ} P)_{G7} \cdot 2 \quad [3]$$

Onde: E = Exposição ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$); G_n = Grupos populacionais considerados, com n de 1 a 6; P = Percentagem de população (%); o valor 5 corresponde aos dias 5 dias úteis e o 2 ao sábado e ao domingo.

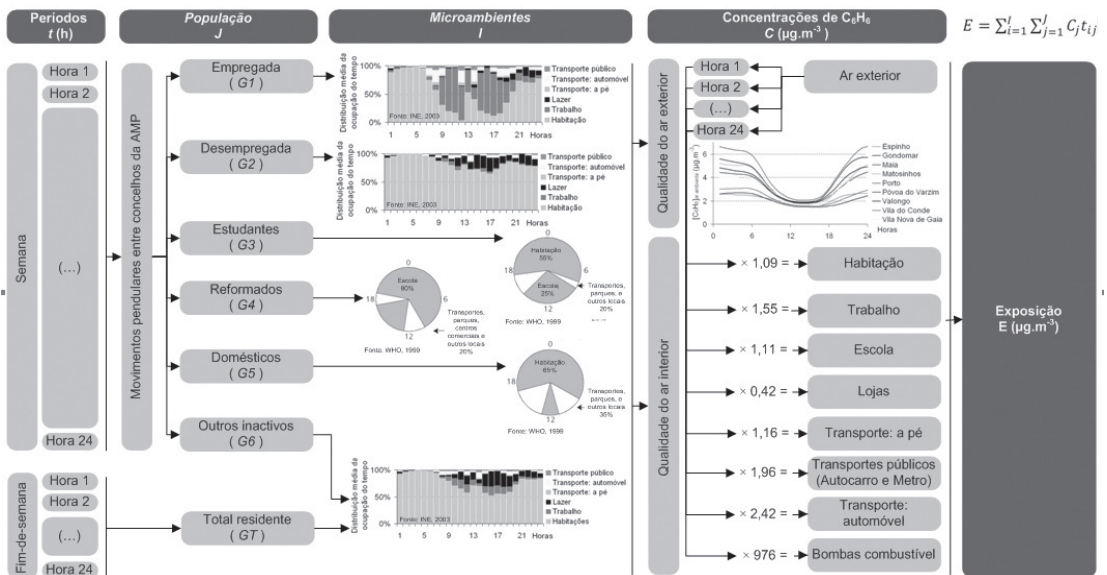


Fig. 4. Esquema metodológico adoptado para a estimativa da exposição ao C_6H_6 atmosférico na AMP.

Dado que não estão disponíveis medições da exposição para o domínio e período de estudo, o processo de validação dos resultados é limitado, pelo que estes devem ser analisados com a devida ponderação. Sob o ponto de vista quantitativo, os resultados encontram-se dentro da mesma ordem de grandeza dos medidos no âmbito do projecto PEOPLE. Sob o ponto de vista qualitativo, a Tabela 2 apresenta uma análise das incertezas, destacando alguns dos factores de incerteza mais importantes identificados durante o desenvolvimento deste trabalho.

Tabela 2. Descrição qualitativa das incertezas decorrentes do processo de estimativa da exposição ao C_6H_6 atmosférico na AMP

Tipo de incerteza	Descrição
Movimentos pendulares	A duração das viagens é efectuada em partes iguais nos dois concelhos. Contudo, apesar desta abordagem conter um grau de incerteza baixo no caso de concelhos contíguos, a incerteza é elevada quando se trata de concelhos não contíguos
Distribuição média da ocupação do tempo	Considera-se que a distribuição é constante ao longo do ano não se considerando as variações, nomeadamente no que respeita aos períodos de férias. Dado que se trata de períodos reduzidos de tempo, considera-se que a incerteza é baixa
Concentrações do ar exterior	No processo de modelação das emissões atmosféricas, a incerteza é média, bem como o processo de estimativa da desagregação espacial
Relação qualidade do ar exterior, qualidade do ar interior	Dado este valor ser considerado constante entre regiões, pode ser considerada uma incerteza baixa dado os hábitos e tipo clima ser semelhante. Contudo, o facto desta relação ser baseada em medições efectuadas para um único período do ano (Outubro), faz com que a incerteza seja elevada uma vez que a relação entre as concentrações interiores e exteriores tendem a variar com as estações do ano e com os hábitos de arejamento das habitações
Concentração de C_6H_6 em habitações de fumadores	Dada a ausência de medições, a estimativa está baseada na dimensão média das habitações não distinguindo, apartamento e moradias, bem como a variabilidade espacial da dimensão das habitações. Outra das incertezas prende-se com a ausência de informação relativa à taxa de ventilação das habitações bem como da distribuição dos fumadores entre os diferentes grupos populacionais considerados pelo que se assume um valor médio

Assim, com base na metodologia apresentada anteriormente foi possível produzir um mapa de exposição média anual, ao C_6H_6 , por habitante, indexado à freguesia de residência, para o ano de 1991 (ano das estimativas de qualidade do ar efectuadas pelo modelo TAPM), considerando-se este ano como representativo da qualidade do ar média a que a população esteve exposta.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos resultados permite verificar que o valor de exposição de C_6H_6 no domínio de estudo é máximo na cidade do Porto, $10,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Figura 5). A obtenção deste valor deve-se ao facto deste concelho, não só apresentar os níveis de concentração de C_6H_6 mais elevados

do domínio em estudo (Figura 2), mas também ao facto de apenas 13,7% da sua população residente trabalhar ou estudar noutra município (INE). Por outro lado, é de salientar os elevados valores de exposição registados para os residentes no concelho de Gondomar, muito próximos aos registados para o concelho do Porto. Embora as concentrações médias de C_6H_6 registadas neste concelho sejam inferiores às do concelho do Porto, 44,1% da sua população residente trabalha ou estuda noutra município (INE), e 59% das viagens realizadas têm como destino o concelho do Porto (INE, 2002) Por outro lado, os concelhos que apresentam valores mais baixos de exposição ao C_6H_6 são Espinho, Póvoa do Varzim e Vila do Conde. Estes concelhos têm em comum, não só o facto de registarem as menores concentrações deste poluente, mas também o facto da maior parte da sua população móvel, ao contrário dos restantes concelhos em análise, não ter como principal destino o concelho do Porto, mas concelhos vizinhos mais próximos e com menores concentrações médias de C_6H_6 .

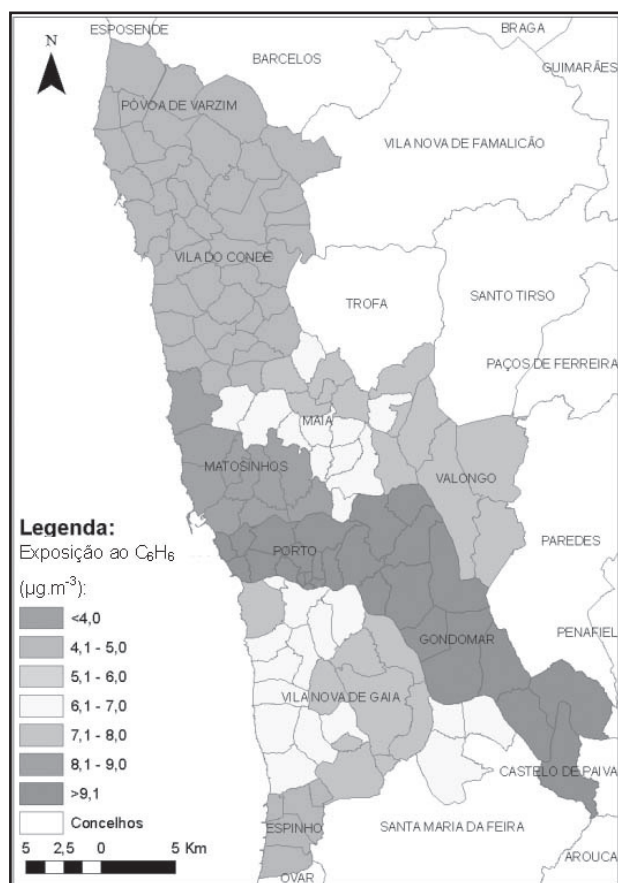


Fig. 5. Exposição anual de C_6H_6 para a população residente na AMP para o ano de 1991.

Outro aspecto relevante, prende-se com a desagregação espacial dos resultados para o nível da freguesia. Embora a metodologia tenha sido desenvolvida no sentido da maior desagregação dos resultados ao nível espacial, na verdade essa variação não é notória na maioria dos concelhos (Figura 5). A obtenção destes resultados deve-se ao facto dos dados iniciais,

nomeadamente a informação relativa aos movimentos pendulares, não estar disponível ao nível da freguesia, pelo que se ganha pouco detalhe com esta desagregação espacial.

Chama-se também atenção para o facto dos resultados aqui apresentados serem analisados com a devida cautela, dada a ausência de informação suficiente para a sua validação.

5. CONCLUSÕES

A avaliação da exposição populacional ao C_6H_6 na AMP através de métodos indirectos constitui uma boa alternativa de estudo. Apesar destas técnicas serem mais rápidas e mais baratas em estudos desta natureza, destacam-se também algumas limitações, nomeadamente no que se refere à elevada quantidade de factores a ter em conta, nomeadamente no que se refere às rotinas diárias e concentrações nos diversos microambientes considerados.

A análise dos resultados obtidos indica que, para além das concentrações de C_6H_6 registadas no concelho de residência, a quantidade de movimentos pendulares para outros concelhos, sujeitos a outros níveis de concentração, condiciona de forma definitiva o resultado final da estimativa efectuada para a exposição da população a este poluente.

Embora a metodologia tenha sido desenvolvida para a obtenção dos valores de exposição ao nível da freguesia, na verdade, essa variabilidade não é notória. O facto dos dados referentes aos movimentos pendulares apenas existirem para o nível do concelho condicionou de forma definitiva os resultados finais obtidos ao nível da freguesia pelo que este factor deverá ser tido em conta em futuros estudos. Além disso, a ausência de medições da exposição ao C_6H_6 condiciona de forma importante a análise das estimativas realizadas. Assim, e dada a importância deste poluente, a medição rotineira, quer das concentrações, quer da exposição, é um factor essencial neste tipo de estudos.

6. AGRADECIMENTOS

À FCT, do Ministério da Ciência e Ensino Superior, e ao Fundo Social Europeu, no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio, o financiamento da bolsa de doutoramento de Tânia Fontes (Ref^o SFRH/BD/19027/2004).

BIBLIOGRAFIA

- BAKER, S., DRIVER, J., MCCALLUM, D. (2001). Residential Exposure Assessment: A Sourcebook. Nova Iorque, Springer.
- BALLESTA, P.P., FIELD, R., A., CONNOLLYA, R., ET AL. (2006). Population Exposure to Benzene: One day cross-sections in six European cities. *In: Atm. Env.*, 40(18), pp. 3355-3366.
- CARLETTI, R. E ROMANO, D. (2002). Assessing Health Risk from Benzene Pollution in an Urban area. *In: Env. Monit. And Assess.*, 80, pp. 135-4
- Directiva-Quadro 2008/50/CE de 21 de Maio. Fixa os objectivos relativos à qualidade do ar ambiente, com base em métodos e critérios comuns para todos os Estados-Membros.
- DUARTE-DAVIDSON, R., COURAGE, C., RUSHTON, L., LEVY, L. (2001). Benzene in the Env.: Assess. of the Potential Risk to the Health of the Population. *In: Occup. Env. Med.*, 58, pp. 2-13.

- ELLIOTT, P., WAKEFIELD, J.C., BEST, N.G., BRIGGS, D.J., (2001). *Spatial Epidemiology: Methods and Applications*. EUA, Oxford University Press.
- ETKIN, D.S. (1996). *Volatile Organic Compounds in Indoor Environments*. Cutter Information Corp., Arlington, USA.
- EU (2007). *Attitudes of Europeans towards Tobacco Technical Specifications*. Special EuroBarometer N.º272C, EU.
- FRUIN, S.A., DENIS, M.J.S., ET AL. (2001). Reductions in Human Benzene Exposure in the California South Coast Air Basin. In: *Atm. Env.*, 35(6), pp. 1069-77.
- GRAHAM, S.E. E BURKE, J.M. (2004). Population Exposure and Dose Model for Air Toxics: A Benzene Case Study. In *Int. Society Exp. Analysis 14th Annual Conf. (Oct 17-21)*, EUA.
- GREGG, M. (2008). *Field Epidemiology*. 3 edição, Oxford University Press.
- HEINEMEYER, G. (2008). Concepts of Exposure Analysis for Consumer Risk Assessment. In: *Experimental and Toxicology Pathology*, 60, pp. 207-212.
- HURLEY, P.J. (2008). *The Air Pollution Model (TAPM) Version 4: User manual*.
- INE (2001). *Inquérito à Ocupação do Tempo 1999*. Lisboa, INE.
- INE (2002). *Inquérito à Mobilidade da População Residente em 2000*. Porto, INE.
- INE (2003). *Mobilidade Casa-Trabalho da População Empregada Residente na Área Metropolitana do Porto em 2000*. Lisboa, INE.
- INE, (2007). *Estatísticas da Construção e Habitação 2006*. INE.
- INE. [EM LINHA] DISPONÍVEL EM [HTTP://WWW.INE.PT](http://www.ine.pt) [CONSULTADO EM 5/06/2009].
- JENSEN, S.S. (1999). *A geographic approach to modelling human exposure to traffic air pollution using GIS*. NERID, PhD Thesis at University of Roskilde Denmark.
- KOISTINEN, K., KOTZIAS, D. ET AL. (2008). The INDEX project: executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. In: *Allergy*, 63, pp. 810-819.
- OLIVEIRA, C. (2001). Síntese dos Dados Relativos à Área Metropolitana do Porto, Boletim Informativo, Câmara Municipal do Porto, Dezembro, pp. 1-16.
- PEOPLE (2003). Relatório do Projecto PEOPLE - Population Exposure to Air Pollutants in Europe em Lisboa. [Em linha]. Disponível em <http://www.people-pt.net/>. [Consultado em 10/06/2009].
- SCHNEIDER, P., LÖRINCI, G., ET AL. (1999). Vertical and Horizontal Variability of VOC in Homes in Eastern Germany. In: *J. Expo. Anal. Env. Epid.*, 9, pp. 282-292.
- SCTEE - SCIENTIFIC COMMITTEE ON TOXICITY, ECOTOXICITY AND THE ENVIRONMENT, 2003A. *OPINION ON THE RESULTS OF THE RISK ASSESSMENT OF: BENZENE ENVIRONMENT*. UNIÃO EUROPEIA.
- TCHPEL, O., PENEDO, A. & GOMES, M. (2007). Assessment of Population Exposure to Air Pollution by Benzene. *Int. J. Hyg. Environ.-Health*, 210, pp. 407-410.
- WALKER, K.D., WVANS, J., MACINTOSH, D. (2001). Use of Expert Judgment in Exposure Assess., Part 1. Charact. of Personal Exp. to Benzene. In: *J. Exp. Env. Epid.*, 13(1), pp. 308-322.
- WALLACE, L.A. (1989). Major Sources of Benzene Exposure. In: *Env. Health Persp.*, 82, pp. 165-169.
- WALLACE, L.A., PELLIZZARI, E.D., ET AL. (1989). Exposure to benzene and other volatile compounds from active and passive smoking. In *Arch. Env. Health*. 42, pp. 272-279.
- WHO (1999). *Monitoring Ambient Air Quality for Health Impact Assessment*. WHO, N.º 85
- WHO/IPCS (2005). *WHO/IPCS. Principles of Characterizing and Applying Human Exposure Models. Harmonization Project Document*. WHO, N.º 3.
- YU, C., E CRUMP, D. (1998). A Review of the Emission of VOC's Polymeric Materials Used in Buildings. In: *Building Envir.*, 33, pp. 357-74.