

Epidemiología espacial: nuevos enfoques para viejas preguntas

Spatial Epidemiology: New Approaches to Old Questions

Epidemiologia espacial: novas abordagens para velhas questões

47

Univ Odontol. 2010 Jul-Dic; 29(63): 47-65. ISSN 0120-4319

DOSSIER SALUD PÚBLICA Y EPIDEMIOLOGÍA EN ODONTOLOGÍA

Maria de Fátima de Pina

Instituto de Engenharia Biomédica (INEB), Universidade do Porto, Portugal. Serviço de Higiene e Epidemiologia, Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, Portugal. Instituto de Saúde Pública da Universidade do Porto (ISPUP), Portugal.

Sandra Ferreira Alves

Instituto de Engenharia Biomédica (INEB), Universidade do Porto, Portugal. Escola Superior de Tecnologias da Saúde do Porto, Instituto Politécnico do Porto, Portugal.

Ana Isabel Correia Ribeiro

Instituto de Engenharia Biomédica (INEB), Universidade do Porto, Portugal. Instituto de Saúde Pública da Universidade do Porto (ISPUP), Portugal.

Andreia Castro Olhero

Instituto de Engenharia Biomédica (INEB), Universidade do Porto, Portugal.

Artículo escrito originalmente en inglés. Aquí se publica en las dos versiones: español e inglés, la segunda de las cuales se encuentra en la p. 57.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Pina MF, Ferreira Alves S, Correia Ribeiro AS, Castro Olhero A. Epidemiología espacial: nuevos enfoques para viejas preguntas. Univ Odontol. 2010 Jul-Dic; 29(63):47-65.

Recibido para publicación: 15-06-2010
Aceptado para publicación: 06-08-2010

Disponible en <http://www.javeriana.edu.co/universitasodontologica>

RESUMEN

La epidemiología espacial se utiliza para describir, cuantificar y explicar las variaciones geográficas de las enfermedades; para evaluar la relación entre la incidencia de enfermedades y posibles factores de riesgo, y para identificar los conglomerados geográficos de las enfermedades. Este artículo revisa los principales aspectos de la epidemiología espacial, empezando con una explicación de la importancia de trazar mapas de los datos de salud, una perspectiva histórica del desarrollo de la disciplina, una descripción de los tipos de datos espaciales, algunos métodos de estadística espacial y la importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el análisis de datos referenciados espacialmente. Algunas aplicaciones de los SIG en salud bucal se presentan también.

PALABRAS CLAVE

Epidemiología espacial, estadística espacial, sistemas de información geográfica, salud oral.

PALABRAS CLAVE DESCRIPTOR

Epidemiología, salud oral, Sistemas de Información Geográfica

ÁREA TEMÁTICA

Epidemiología espacial.

ABSTRACT

Spatial Epidemiology is used to describe, quantify and explain the geographical variations of diseases, to evaluate the association between the incidence of diseases and potential risk factors and to identify spatial clusters of diseases. This article goes through the main aspects of spatial epidemiology, starting with an explanation of the importance of mapping health data, an historical perspective of the development of the discipline, a description of spatial data types, some methods of spatial statistics, and the importance of Geographical Information Systems (GIS) in the analysis of spatially-referenced data. Some applications of GIS regarding oral health are presented.

KEY WORDS

Geographical Information System, oral health, spatial epidemiology, spatial statistics.

KEY WORDS PLUS

Epidemiology, Oral Health, Geographic Information Systems

THEMATIC FIELD

Spatial epidemiology.

RESUMO

A epidemiologia espacial é usada para descrever, quantificar e explicar as variações geográficas das doenças, para avaliar a associação entre a incidência de doenças e possíveis fatores de risco e para identificar clusters espaciais de doenças. O presente artigo aborda os principais aspectos da epidemiologia espacial, começando com uma explicação da importância de mapear dados de saúde, uma visão histórica da evolução da disciplina, uma descrição dos tipos de dados espaciais, alguns métodos de estatística espacial e a importância dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na análise de informação espacial. Algumas aplicações dos SIG no âmbito da saúde oral são também apresentadas.

PALAVRAS CHAVE

Epidemiologia espacial, estatística espacial, sistemas de informação geográfica, saúde oral.

ÁREA TEMÁTICA

Epidemiologia espacial.

¿POR QUÉ HACER MAPAS DE LOS DATOS DE SALUD?

Todo en el mundo puede ser ubicado en una referencia geográfica y los eventos relacionados con la salud, como enfermedad, muertes, nacimientos, exposición a riesgos o cualquier otro evento, pueden relacionarse con el sitio donde ocurren, por un par de coordenadas, una dirección o un área. El estudio de la distribución geográfica y la asociación espacial de los eventos en salud puede denominarse epidemiología espacial. La incorporación de la perspectiva espacial a los estudios en salud lleva importantes contribuciones al entendimiento de los procesos de salud-enfermedad y puede conducir a diferentes resultados de aquellos obtenidos en los estudios que no consideran el espacio geográfico. Junto con la descripción de las características de las poblaciones es necesario precisar dónde ocurren los casos, qué clases de servicios busca la población, el lugar de potencial riesgo ambiental y las áreas socialmente vulnerables.¹

Las técnicas estadísticas tradicionales solían analizar datos socioeconómicos, ambientales y de salud que, aun cuando son importantes y útiles, no consideran el espacio geográfico donde ocurren los eventos; en otras palabras, ellos no miden cómo los eventos de salud están asociados en un contexto de espacio. Debido a que el proceso de salud-enfermedad no es el resultado directo de los factores de riesgo y las condiciones biológicas/genéticas, los determinantes sociales y ambientales que influyen la salud y el bienestar de las poblaciones necesitan ser integrados dentro de los estudios epidemiológicos modernos.

La característica especial acerca del análisis espacial es que “el lugar hace la diferencia”; por lo tanto, la ubicación de los eventos necesita ser integrada en el análisis. Al enfrentarse a eventos de salud, los epidemiólogos y otros profesionales de la salud deben prestar especial atención a la primera ley de la geografía, definida por Waldo Tobler como “todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las distantes”.^{2,3} Muchos de los modelos matemáticos usados en el análisis espacial consideran esta ley al usar algoritmos sopesados con la distancia. El análisis de los datos se torna en una tarea dinámica e integrativa, donde la información es mucho más que simples números o características estáticas.

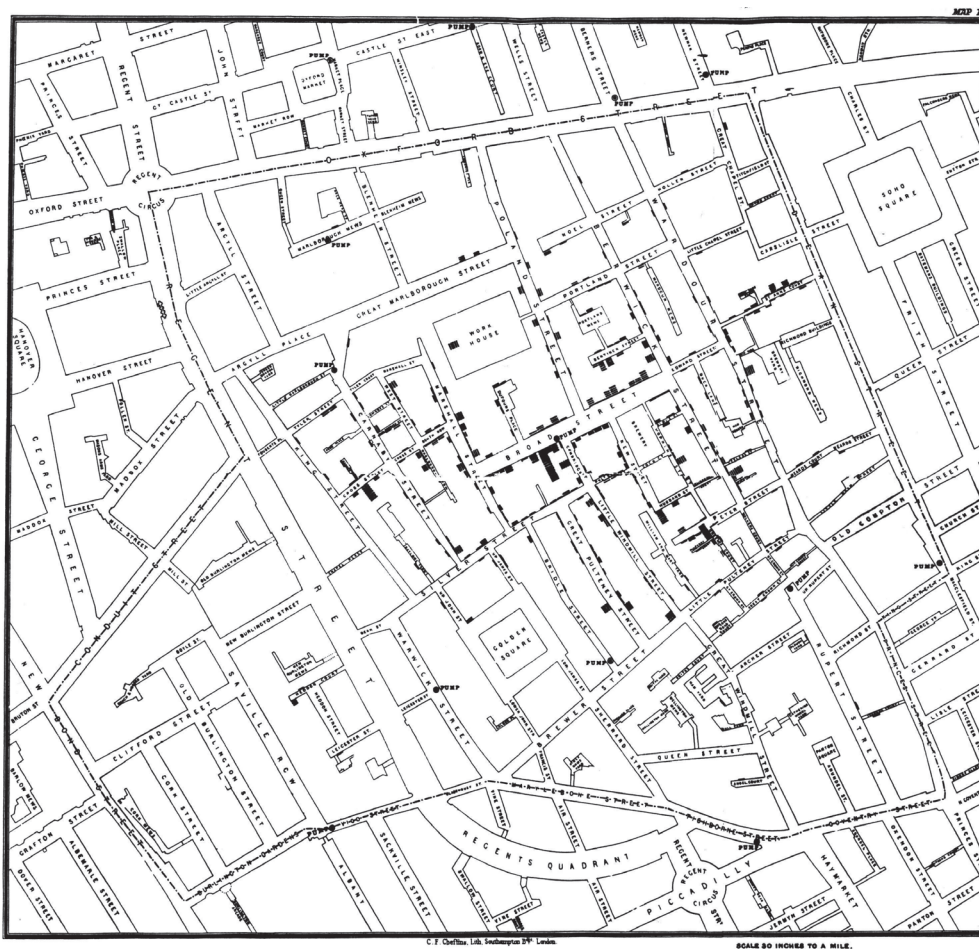
El estudio de la distribución geográfica de los eventos de salud se volvió de gran interés entre los epidemió-

logos durante las últimas tres décadas, a causa de un retorno a un concepto de salud más amplio y holístico, en el cual los individuos son vistos en su contexto socio-cultural-ambiental. Sin embargo, el uso de mapas en estudio de salud no es reciente. Los primeros mapas de enfermedades se hicieron para representar la ubicación de casos de enfermedades infecciosas, como los mapas hechos por Seamon y Pascalis, en 1789, con la ubicación de los casos de fiebre amarilla en Nueva York y después, en 1854, con el bien conocido mapa de John Snow, para ubicar las muertes por cólera en Londres. Hoy en día el uso de mapas se ha extendido para cubrir casi cualquier enfermedad, así como cada país, a fin de facilitar las comparaciones internacionales⁴

El uso extensivo del mapeo de las enfermedades comenzó al final del siglo XVII cuando el lugar de residencia fue considerado un determinante en el proceso de contraer enfermedades. Los científicos creían que vivir cerca del miasma tenía una relación causal con el desarrollo de enfermedades y, por lo tanto, mapear la ocurrencia de ellas les ayudaría a ubicar la fuente de exposición. En ese tiempo, los censos organizados de la población y los registros de las enfermedades estaban comenzando y el aumento de información disponible condujo al interés por evaluar los patrones geográficos, así como identificar los factores de riesgo relacionados con tales patrones.⁵ Durante el siglo XIX hubo una intensa cooperación entre geógrafos y médicos, y no era poco común para los geógrafos unirse a los epidemiólogos o médicos para estudiar geografía.

Varios mapas fueron producidos y publicados, incluidos algunos atlas de salud y enfermedad. El mapa de Snow es el ejemplo más famoso (figura 1). En el siglo XIX, la epidemia de cólera fue común en Europa y desde 1848 John Snow, médico, había estado estudiando la distribución espacial de las muertes por cólera en Londres. Él observó la asociación con las áreas geográficas de la distribución del agua por parte de diferentes empresas de suministro. Snow analizó las ratas de mortalidad por distrito y detalló que las regiones que recibían agua de las áreas contaminadas del río Támesis tenían ratas de mortalidad cerca de diez veces mayores que los distritos que recibían el suministro con aguas limpias del Támesis.

Figura 1
Muertes por cólera durante la epidemia de 1854 en Londres



Fuente: Snow J. On the mode of communication of cholera. 2nd ed. London: John Churchill, New Burlington Street; 1855.

Durante una epidemia a comienzos de 1854, cientos de personas enfermaron y murieron de cólera en un área pequeña en el centro de Londres. John Snow mapeó todas las muertes y analizó la proximidad espacial a las bombas de agua. Él observó que la mayoría de las muertes fue de aquellos que consumieron agua de la bomba de la calle Broad y probó su teoría del agua contaminada como fuente de cólera.⁵ El estudio de John Snow puede considerarse el primero conocido de epidemiología espacial. Él no limitó el uso de mapas al trazado de los casos de las enfermedades (como era usual en ese tiempo), sino que implementó un diseño más sofisticado que compara áreas de acuerdo con condiciones ambientales homogéneas y estudia la proximidad de las fuentes de contaminación.

A finales del siglo XIX y comienzos del XX, el paradigma del miasma entró en declive como consecuencia de los avances en microbiología y los descubrimientos de Louis Pasteur, y el nuevo paradigma de los gérme-

nes dominó las ciencias médicas y de la salud pública. El espacio geográfico era visto de forma reducida como el sitio donde los gérmenes se encuentran con los individuos.⁶ La importancia del espacio geográfico siguió en declive a finales del siglo XX, en la era de las enfermedades crónicas y la teoría de los factores de riesgo; era un lapso en que las enfermedades eran vistas como una consecuencia directa de la conducta y los estilos de vida. Este periodo de la epidemiología ha permanecido hasta hoy y estamos viviendo ahora la transición a la epidemiología social/espacial donde los individuos son vistos en su ambiente social, económico y cultural, junto con la carga biológica/genética.⁶

En la epidemiología social/espacial, el espacio geográfico es esencial para entender la diseminación y distribución de las enfermedades. Más que nunca, la localización geográfica de los eventos de salud está en el contexto de los estudios. A pesar de esta larga

tradición de integrar el espacio con los estudios en salud, la formalización de la epidemiología espacial como disciplina es reciente, con unas metas establecidas para describir, cuantificar y explicar las variaciones geográficas de las enfermedades, evaluar la asociación entre la incidencia y los factores de riesgo potenciales e identificar la agregación especial de las enfermedades.⁷

TIPOS DE DATOS ESPACIALES

Los datos espaciales son entidades complejas compuestas por un elemento tabular (los atributos) y uno gráfico (la ubicación geográfica) y pueden ser categorizados en cuatro tipos: puntos, líneas, áreas y superficies. Los datos puntuales consisten en las posiciones determinadas por un par de coordenadas que representan la localización exacta de los eventos, por ejemplo, residencia de los pacientes, muertes, nacimientos o servicios de salud, como hospitales o clínicas. Estos pueden tener asociados atributos que representan la intensidad del evento, por ejemplo, la temperatura o calidad del agua en estaciones de control.^{8,9} Los análisis que incluyen la localización de eventos en salud, como la ocurrencia de enfermedades, son útiles para identificar si hay patrones espaciales o si los eventos están distribuidos al azar en el espacio.⁸

Las líneas representan la interacción espacial de los datos con el objetivo de mapear el flujo de gente, bienes o servicios, entre los orígenes y destinos, con el fin de construir modelos y hacer predicciones. Ejemplos de estudios son el flujo de pacientes a los centros de salud con el fin de planear o adjudicar recursos.⁹

Los datos de las áreas pueden ser regulares, como píxeles de imágenes teledetectadas o irregulares, como los límites entre municipalidades, distritos, zonas de censo, etc.^{8,9} En los estudios que usan datos de áreas, los objetivos son mapear la ocurrencia de eventos en salud agregados por áreas, usualmente expresados por tasas, para detectar los índices de grupos de mayor (o menor) incidencia (o mortalidad), o para mapear proporciones, por ejemplo, número de odontólogos por habitantes.⁸

Los datos espaciales continuos también se basan en un grupo de sitios puntuales (los puntos de la muestra), usados para generar una superficie que representa el fenómeno bajo estudio en una región continua. Estas superficies pueden ser generadas por diferentes

métodos, muchos de los cuales usan una malla regular en la que el valor de cada celda se calcula por interpolación de los valores conocidos de los puntos de la muestra, usando varias funciones matemáticas. Los puntos se emplean para generar las superficies que pueden ser puntos reales (por ejemplo, el lugar de residencia del paciente o la calidad del agua medida en un punto de la muestra) o puntos conceptuales que no representan la ubicación exacta de un evento, sólo los valores de un área completa —por ejemplo, el centroide (baricentro o centro geométrico) de una municipalidad puede usarse para representarla toda—. Las superficies pueden emplearse con el fin de entender la asociación de los eventos en salud y los datos ambientales.⁸

Estas cuatro categorías de datos espaciales permiten resolver la mayoría de los datos espaciales. El tipo de datos, sin embargo, no limita el tipo de análisis. Por ejemplo, si los datos están disponibles únicamente para un área, el análisis no será necesariamente por área. En cambio, si los datos están disponibles por puntos, el análisis y los resultados se realizan para el área, agregando los datos de acuerdo con algún criterio.

PONIENDO LOS DATOS EN EL MAPA

El primer paso en el análisis espacial es georreferenciar los datos: un proceso de referenciación a una ubicación en la tierra. En otras palabras, es el proceso de vincular los datos a los mapas que puede efectuarse dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Hay varias formas de georreferenciarlos: por coordenadas (mediante encuestas de campo con un SIG), áreas (usando un geocódigo) o direcciones. Cuando se usan coordenadas para georreferenciar los datos, las coordenadas mismas serán convertidas para crear las características mapeadas que serán superpuestas con otros mapas. La precisión en la georreferenciación estará de acuerdo con el método con que se capturaron las coordenadas. Por ejemplo, si se utiliza una estación topográfica/SIG, la precisión puede ser de cerca de 20 m. La decisión sobre la precisión necesitada depende de los objetivos del trabajo y de la escala del análisis.

Para georreferenciar los datos de un área, es necesario tener un mapa en las mismas unidades de esos datos. Por ejemplo, si hay una tabla con tasas de mortalidad por país, es necesario tener un mapa del país; si uno quiere mapear el número de pacientes por municipalidad, es necesario tener un mapa

con los límites de las municipalidades. La información tabulada y las áreas en el mapa necesitan tener un campo común (el geocódigo), con el fin de establecer un enlace entre ellas. El proceso de geocodificación por áreas es usualmente muy simple. Hay una gran cantidad de información digital disponible por áreas, ambos mapas y datos en salud. Entre más grande el área, más fácil es tener mapas digitales disponibles y más simple es el acceso a datos en salud.

El acceso a datos de calidad en el ámbito nacional es usualmente fácil, ya que la responsabilidad de recolectar y proporcionar estos datos es normalmente llevada a cabo por organizaciones gubernamentales o instituciones ligadas a los gobiernos (esto es, oficina de registro, áreas postales, institutos nacionales de estadística). Sin embargo, cuando se refiere a microáreas (zonas de censo o vecindarios), las dificultades para acceder a datos en salud aumentan, debido a las normas de confidencialidad.¹⁰⁻¹³

Las estadísticas de mortalidad y morbilidad respecto a grandes áreas están usualmente disponibles pero, entre más detalladas son las áreas, más difícil es el acceso a los datos en salud. No obstante, con los años se han incrementado los datos disponibles en salud, asociados con un aumento de los mapas digitales de buena calidad, como resultado de algunos esfuerzos para estandarizar formatos, calidad y facilidad de acceso, a través de la creación de páginas de internet ligadas a las instituciones responsables de recolectar esos datos.¹¹

En los estudios en salud es frecuente tener información registrada con direcciones (de residencia, lugar de trabajo o escuela) provenientes de las cohortes de participantes o de una lista de pacientes de una clínica. Las direcciones son la información más difícil de ser georreferenciada y, para hacerlo, es necesario tener un mapa detallado de las calles y los números de las casas en cada segmento de calle. Un problema adicional en la georreferenciación de direcciones es que el acceso a mapas detallados de las calles puede ser muy costoso y se desactualiza fácilmente.

En los últimos años, el desarrollo de los SIG ha sido asombroso, por sus crecientes capacidades para manipular, organizar y analizar datos espaciales. La disponibilidad de mapas digitales de alta calidad también ha aumentado y hoy en día son relativamente fáciles de acceder en todos los países, desarrollados o en desarrollo. Pese a ello, los problemas para georreferenciar direcciones siguen siendo casi los mismos de

hace 20 años, principalmente por la pobre calidad de la información de las direcciones dada por los individuos, bien sea esta incompleta, abreviada o con errores de ortografía... Adicionalmente, en áreas de pobreza como los tugurios, especialmente en países en desarrollo, a menudo no hay urbanización oficial y, en consecuencia, no hay nombres ni números oficiales de calles y el proceso de georreferenciación de las direcciones es casi imposible. Esto conduce a sesgos espaciales en los estudios epidemiológicos, porque la falta de datos de georreferencia será desigual de acuerdo con las condiciones socioeconómicas.

ANÁLISIS ESPACIAL

El análisis espacial es un término amplio que comprende métodos estadísticos (estadística espacial) y no estadísticos, y comienza con la aplicación de técnicas exploratorias para buscar una buena descripción de los datos (como cualquier análisis tradicional), y así ayudar a definir la hipótesis y a escoger los modelos apropiados. La principal característica del análisis estadístico espacial, comparado con los métodos estadísticos tradicionales, es que los lugares donde los eventos ocurren son, de forma explícita, presentados en el análisis. Esto es, la visualización simple de los datos en un mapa no es un análisis espacial. La geografía desempeña un papel importante en nuestro entendimiento de la realidad y el análisis de datos espaciales ha sido facilitado extremadamente con el uso de SIG y el desarrollo de métodos sofisticados de estadística espacial.

El tipo de datos determina el tipo de mapa producido en un SIG. Los mapas más apropiados para los datos puntuales son los de puntos (dots), pues cada uno de estos representa la misma cantidad de eventos bajo análisis. Por ejemplo, cada punto es un caso de enfermedad oral o constituye 10 casos de la misma enfermedad. Las variaciones de estos mapas pueden ser obtenidas usando símbolos proporcionales, de tal forma que el tamaño del símbolo (usualmente círculos) es proporcional a la cantidad medida en cada posición.¹⁴

A menudo, para representar los datos de un área se usan los mapas de coropletas, en los cuales cada área es coloreada o sombreada de acuerdo con la medida de la variable estadística que se está mostrando. A pesar de ser una herramienta básica en el análisis exploratorio de datos, los mapas de coropletas no deben tomarse a la ligera. Un aspecto que es nece-

sario considerar cuidadosamente es la clasificación de los datos en clases, un procedimiento muy usado en la construcción de mapas, ya que la variación en el número de clases, así como los límites de los intervalos, puede conducir a diferentes percepciones de los patrones espaciales. A efectos de visualizar datos de interacción espacial es posible usar la misma idea de símbolos proporcionales. Los símbolos usados son líneas donde el ancho de la línea es proporcional al volumen de flujo; se pueden agregar flechas para indicar la dirección del flujo, por ejemplo, la cantidad de pacientes en un hospital o clínica provenientes de cada municipalidad.¹⁵

Para datos espaciales continuos, el objetivo es producir mapas que muestren continuidad. Esto es obtenido por interpolación de varios puntos de la muestra a una red de referencia, que produce una superficie capaz de ser representada de forma bi o tridimensional. Los modelos exploratorios también incluyen algunas herramientas de estadística espacial, tal como indicadores locales/globales para autocorrelación espacial o diferentes técnicas de ajuste de tasas.^{8,16}

Un índice usado a menudo en epidemiología es el índice de dependencia espacial, que puede ser local o global, y puede ser designado como un índice de autocorrelación espacial porque mide la correlación entre observaciones de la misma variable en diferentes posiciones en el espacio.⁸ Los índices globales miden cómo la variable bajo estudio se correlaciona en una región y son útiles para una caracterización holística que provee un valor simple a la región.¹ Los indicadores locales traducen cómo la variable en un área está correlacionada con la misma variable en un vecindario cerrado; ellos proporcionan un valor para cada área y permiten la identificación de grupos. Los indicadores locales son más sensibles a las variaciones de los valores de la variable.¹⁷

Un problema común en epidemiología es el bien conocido *problema de los números pequeños*, relacionado con la inestabilidad estadística cuando se calculan tasas en áreas con una población pequeña y pocos casos, lo que conduce a fluctuaciones por azar y tasas no confiables. Una solución para superar este problema es agregar datos, bien sea en espacio, creando áreas más grandes con poblaciones mayores, o bien en tiempo, incrementando el numerador en el cálculo de tasas. No obstante, en ambas soluciones hay la desventaja de perder detalle (en espacio o en tiempo) y la capacidad de identificar patrones subyacentes.¹⁸

Una forma alternativa de hacer frente al problema de los números pequeños es ajustar las tasas calculadas usando el enfoque empírico bayesiano (EB) para “suavizar” el riesgo local. Tal enfoque está relacionado con la estimación estadística basada en los datos observados y en el conocimiento anterior de los parámetros de interés.⁸ El grado de “suavización” refleja qué tan confiados estamos en el riesgo local observado y es una función del tamaño de la población y la variabilidad de las tasas de incidencia,⁸ que reflejan mejor el riesgo real de un área, porque suavizan las altas tasas de incidencia artificial causadas por pocos casos en pequeñas poblaciones.

Para ilustrar el método EB se presenta en la figura 2 un ejemplo práctico de la distribución geográfica de las tasas de hospitalización estandarizadas por edad (THEE) para la enfermedad cardíaca coronaria (ECC) en mujeres en Portugal (entre 2006 y 2008). Después del análisis exploratorio, es necesario buscar una confirmación más formal de la hipótesis inicialmente reunida o estimar asociaciones, a través de modelos estadísticos espaciales aplicados a los datos, por ejemplo, los modelos Kriggin, que permiten predecir variables continuas espacialmente.

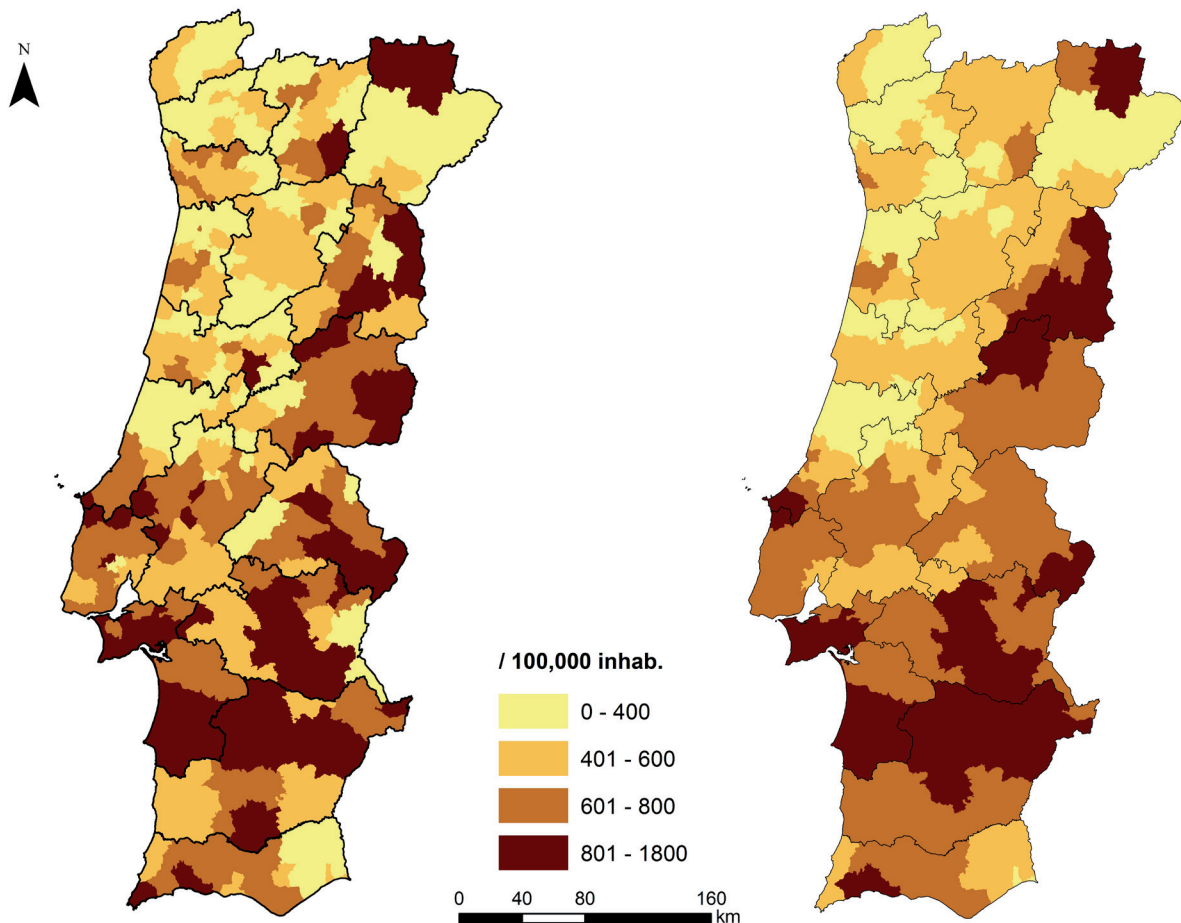
Por medio de varias técnicas de análisis espacial (unas pocas de las cuales se presentan en este artículo) es posible obtener respuestas a los problemas estudiados por la epidemiología espacial. Estas se dividen en cuatro clases principales:¹⁹

- Mapeo de enfermedades, cuya meta es producir mapas con la distribución más confiable de la enfermedad.
- Estudios ecológicos, que están interesados en la asociación entre incidencia y exposición al riesgo, medido en grupos antes que en individuos.
- Problemas de grupos de enfermedades con un enfoque en la identificación de áreas de elevado riesgo de enfermedad.
- Monitoreo y evaluación ambiental, que se encarga de reunir información sobre la distribución espacial de variables ambientales con influencia en la salud.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y ANÁLISIS ESPACIAL

Con los SIG (sistemas basados en computadores) se adquiere, almacena, administra y analiza información geográfica y con ello se integran datos de diferentes fuentes, escalas y tipos en el mismo ambiente.¹⁴ Esta posibilidad aumentó enormemente el potencial de

FIGURA 2
MAPAS DE THEE PARA ECC (MUJERES), ANTES DEL EB (IZQUIERDA) Y DESPUÉS DEL AJUSTE POR EB (DERECHA)



análisis, al poner los eventos en salud en el contexto socioeconómico y ambiental donde ocurren.

El rápido desarrollo de la informática —con componentes de disco duro y programas cada vez más baratos y accesibles a todo tipo de usuarios— y el incremento en la cantidad y calidad de los datos referenciados geográficamente (recolectados y disponibles) a una amplia gama de organizaciones condujeron a la generalización de los SIG en los años ochenta.

Los mapas eran tradicionalmente vistos como una forma de comunicar información, por la visualización de los datos en los mapas a través del uso de lenguaje cartográfico de símbolos y colores. Con el desarrollo de los SIG, los mapas llegaron a ser mucho más que simples instrumentos para transmitir conocimiento y se convirtieron en instrumentos para producir nuevo conocimiento. En combinación con la estadística espacial, los SIG proveen una amplia gama de técnicas para analizar datos socioeconómicos, ambientales y de salud-enfermedad en un contexto geográfico, y así mejoran las capacidades analíticas.

La visualización es la forma más simple y más usada de los SIG. Es bien sabido que “una imagen vale más que mil palabras” y ¿qué puede decir uno acerca de una imagen en comparación con una tabla? Los mismos datos presentados en una tabla o sobre un mapa dan una información completamente diferente al lector de ambos. Mirar los datos sobre un mapa da inmediatamente al lector la percepción de asociaciones espaciales, lo cual es imposible de identificar en una tabla. Al equiparar dónde están ocurriendo los eventos, cuál es la población afectada y qué tan cercanos están, uno puede sugerir hipótesis para futuras investigaciones. Así, el mapeo de las enfermedades no es simplemente un plan para determinar la incidencia de enfermedades, sino un área de la epidemiología espacial que se preocupa por visualizar y explorar la distribución real de una enfermedad a través de las tasas observadas.¹⁹

Los SIG también proveen un grupo de herramientas geométricas sofisticadas que permiten superponer diferentes mapas, crear áreas de influencia, determinar las fluctuaciones entre puntos (por ejemplo, el

lugar de residencia de los pacientes y los servicios de salud que ellos usan), determinar los mejores lugares para asignar servicios, etc. De este modo, dos clases principales de procesos de análisis espacial pueden desarrollarse con SIG: consultas y transformaciones.

Los análisis llevados a cabo a través de las consultas se consideran los más básicos, porque no se dan transformaciones de los datos ni se producen nuevos datos; el sistema sólo responde preguntas hechas por el usuario. Las consultas pueden enfocarse únicamente en los atributos (componentes no gráficos), en características geográficas (componentes gráficos) o en ambos. Por ejemplo, para las preguntas ¿cuáles localidades tienen más de 25.000 habitantes?, se enfoca en los atributos; ¿cuáles son los casos dentro de la localidad A?, se centra en las características geográficas (caso-puntos, municipalidad-áreas), y ¿cuáles son los casos con edad mayor a 50 años en la municipalidad A?, se enfoca en ambos.²⁰

Los métodos de transformación cambian las bases de datos o los combinan para crear otros nuevos. Ejemplos de estos procesos son: amortiguación, superposición e interpolación espacial. La amortiguación consiste en identificar todas las áreas que están a cierta distancia de un objeto (punto, línea o área), formando uno nuevo con estas áreas.²⁰ Un ejemplo de este proceso de amortiguación puede ser la generación de áreas de exposición que rodean ciertas fuentes de contaminación.²⁰

La superposición consiste en poner las capas (mapas), una encima de la otra, para formar nuevos mapas, donde la información resultante de este nuevo mapa es una combinación de la información presente en los mapas que la componen. Por ejemplo, superponer a un mapa de la densidad de la contaminación otro con la densidad de la población forma un nuevo mapa con la información de la población expuesta.

Finalmente, con la interpolación espacial se estiman las condiciones encontradas en lugares donde no hay información. La interpolación se usa para transformar un grupo de datos discretos en continuos, con base en los puntos (medidos) de la muestra y usando algoritmos matemáticos. Este proceso es útil, por ejemplo, en la estimación de lluvias o temperatura en lugares donde no hay estaciones meteorológicas.

SALUD DENTAL Y ANÁLISIS ESPACIAL

El enfoque integrador descrito —donde los individuos ya no son más islas biológicas, sino que están sumergidos en condiciones sociales y donde el estado de salud es la suma de ambos componentes— es la mejor forma de lograr una mejor comprensión y proporcionar mejor atención para todas las condiciones de salud, incluida la bucal. Por ejemplo, el número de caries y su asociación con los hábitos alimenticios, la calidad del agua o las condiciones socioeconómicas puede ser estudiada en un contexto geográfico, con el fin de identificar las inequidades en salud. El uso de los SIG y el análisis espacial se ha extendido entre los profesionales de la salud en los últimos treinta años, incluyendo la salud bucal.

Un estudio realizado con el propósito de examinar la disponibilidad de odontólogos en Misisipi de 1970 a 2000 determinó la distribución de tendencias geográficas y temporales de los odontólogos y la forma como estos patrones estaban asociados con la distribución geográfica de la población.²¹ Los resultados obtenidos utilizando SIG como enfoque metodológico mostraron una tendencia al aumento en el número de odontólogos e identificaron las municipalidades más atractivas para ellos. Sin embargo, el estudio también mostró que varias áreas de Misisipi permanecían sin cobertura y que el acceso de la población al servicio odontológico era muy limitado en algunas municipalidades.²¹

Otro estudio analizó la aplicación de los SIG en la investigación sobre la provisión de atención dental en los distritos de West Midlands, una región en Inglaterra. El autor asegura que el uso de un SIG presentó información en una forma que aumentó la utilidad en la planeación de los servicios odontológicos.²² En el Reino Unido también se llevó a cabo un estudio que buscó evaluar el potencial de los SIG para examinar la provisión de los servicios odontológicos. Usando un estudio de caso, se analizó el perfil demográfico de los pacientes de un registro odontológico. Con el enfoque SIG se identificaron y analizaron los patrones de los servicios odontológicos de los pacientes. El autor llamó la atención sobre la importancia de tales estudios para informar la toma de decisiones, al destacar la falta de estudios geográficos en salud bucal.²³

Otro estudio efectuado en el Reino Unido buscó mapear la distribución de odontólogos por cada 1.000 habitantes en Inglaterra y Gales. Este enfoque permitió comparar el número de odontólogos con la distribución geográfica de la población y sus necesidades

relacionadas con el acceso a la salud oral. El estudio concluyó que el acceso a la salud oral todavía es limitado en algunas regiones, debido a la falta de odontólogos, particularmente en las áreas rurales.²⁴

Explorando el mismo asunto, en Nueva Zelanda se llevó a cabo un estudio usando SIG para determinar el suministro de servicios en ortodoncia, el cual encontró diferencias geográficas en la existencia de ortodontistas, más concentrados en la Isla Sur. Por medio de la construcción de zonas de amortiguación, también se computó la distancia media de la residencia de los niños, la distancia promedio de los niños a los ortodontistas.²⁵

La distribución de los odontólogos también fue estudiada en Australia, donde a pesar de que las tasas de práctica odontológica han permanecido estables o han aumentado a lo largo del tiempo, las regiones presentaban diferentes tendencias, lo cual refleja cambios en el atractivo de practicar en áreas rurales (donde la oferta era significativamente baja) o urbanas.²⁶

En Estados Unidos se llevó a cabo un estudio con el objetivo de analizar la disponibilidad y el acceso a servicios de atención dental en Ohio, usando SIG. Todos los odontólogos y las clínicas dentales (gratis y a bajo costo) fueron georreferenciadas. El análisis espacial mostró disparidades en la distribución de los odontólogos en Ohio, principalmente en las municipalidades rurales, y se concluyó sobre la necesidad de aumentar la disponibilidad de odontólogos en las zonas más desprovistas (tabla 1).²⁷

Central), y su relación con la distribución geográfica de adultos mayores, sus orígenes étnicos y su nivel socioeconómico.²⁸

Al intentar integrar las variables contextuales, también se han realizado análisis multinivel. Una investigación que buscaba establecer una relación entre el contexto socioeconómico y la salud bucal percibida concluyó, contrario a lo anterior, que los atributos individuales explicaban mejor la variación que el contexto de vida.²⁹ La prevalencia de algunos problemas bucales específicos fue relacionada con la región de residencia. En Brasil, la pérdida dental (junto con varios determinantes individuales) estuvo fuertemente asociada con la vida en las áreas rurales y otros factores socioeconómicos.³⁰

Todos los estudios están de acuerdo en la importancia de los SIG para ayudar y apoyar a quienes toman decisiones. Muchos segmentos de la población experimentan una o más barreras de acceso a buenos servicios de atención bucal, incluida la disponibilidad de odontólogos licenciados.²¹ La información adicional proveniente de análisis con SIG es útil en la toma de decisiones, así como para responder a las necesidades de las poblaciones en cuanto a servicios de cuidado oral.²¹

Los mapas son herramientas potencialmente fuertes para detectar problemas, optimizar la asignación/reasignación de recursos, establecer prioridades e intervenir las poblaciones blanco en áreas con necesidad. Los mapas también pueden usarse para com-

TABLA 1
PROPORCIÓN ODONTÓLOGO-POBLACIÓN PARA OHIO, POR REGIÓN

Región	Total población estimado	Número de odontólogos	Proporción odontólogo-población
Appalacha	1.459.725	464	1:3.146
Rural no Appalacha	1.567.359	552	1:2.839
Suburbana	1.927.657		
Metropolitana	6.283.011	857	1:2.249
		4.282	1:1.479

Fuente: Mascarenhas AK, Susi L. Using a geographical information system to map the distribution of dentists in Ohio. *J Am Dent Assoc.* 2002;133:641.

También en Estados Unidos, específicamente en la ciudad de Nueva York, un SIG fue usado para estudiar la distribución de las prácticas dentales, las cuales tendían a estar agrupadas alrededor de las líneas del subterráneo (particularmente al sureste del Parque

parar y monitorear el desempeño a lo largo del tiempo. Versiones interactivas en internet de los mapas se pueden generar con muchas características útiles, a fin de fortalecer aún más las organizaciones y la toma de decisiones.²⁴

A pesar de la reconocida importancia de los enfoques metodológicos geográficos, la falta de estudios en salud oral es un problema señalado por varios autores de los ejemplos citados. Se carece de información georreferenciada para analizar los patrones espaciales de las enfermedades orales y relacionarlos con los factores del entorno y, de este modo, poner el relieve en la importancia del territorio como un elemento constitutivo en la expresión de los eventos de morbilidad y los actores involucrados en los procesos de salud-enfermedad bucal.³¹

Hay consenso sobre la importancia del uso de la geografía en salud. Cada estudio epidemiológico debe tomar en consideración el hecho de que virtualmente todas las enfermedades varían de acuerdo con las áreas geográficas. Tal variación debe analizarse sistemáticamente, con el fin de entender si es real, esto es, causada por factores del entorno o sociales, o es simplemente la ocurrencia de un proceso al azar.³²

WHY MAP HEALTH DATA?

Everything in the world can be located in a geographical reference and health-related events, such as disease, deaths, births, exposure to risk or any other event can be related to the location where they occur, by a pair of coordinates, an address or an area. The study of the geographical distribution and spatial association of health events can be referred as spatial epidemiology. The incorporation of the spatial approach into health studies brings important contributions to the understanding of the health-disease process and can lead to different results from those obtained in the studies that do not consider the geographic space. Besides describing the characteristics of populations, it is necessary to locate precisely where the cases are occurring; what kinds of services the population is seeking; the place of potential environmental risk and the areas of socially vulnerable situations.¹

The traditional statistical techniques used to analyze socioeconomic, environmental and health data, although important and useful, do not consider the geographical space where the events occur; in other words, they do not measure how the health events are associated in the spatial context. Because the health-disease process is not a direct result of risk factors and biological/genetic conditions, the social and environmental determinants that can influence the health and welfare of populations need to be integrated within modern epidemiological studies.

The special characteristic about spatial analysis is that “the place makes the difference” and therefore the location of the events needs to be integrated in the analysis. When dealing with health events, epidemiologists and other health professionals should pay special attention to the First Law of Geography, defined by Waldo Tobler: “everything is related to everything else, but near things are more related than distant things”.^{2,3} Many of the mathematical models used in spatial analysis take this law into account, by using distance-weighted algorithms. Data analysis becomes a dynamic, integrative task where data is much more than simple static numbers or features.

The study of the geographical distribution of health events became of great interest among epidemiologists over the past three decades because of a return to a broader, more holistic, concept of health where individuals are viewed within their socio-cultural-environmental context. Nevertheless, the use of maps in health studies is not recent. The first maps of diseases

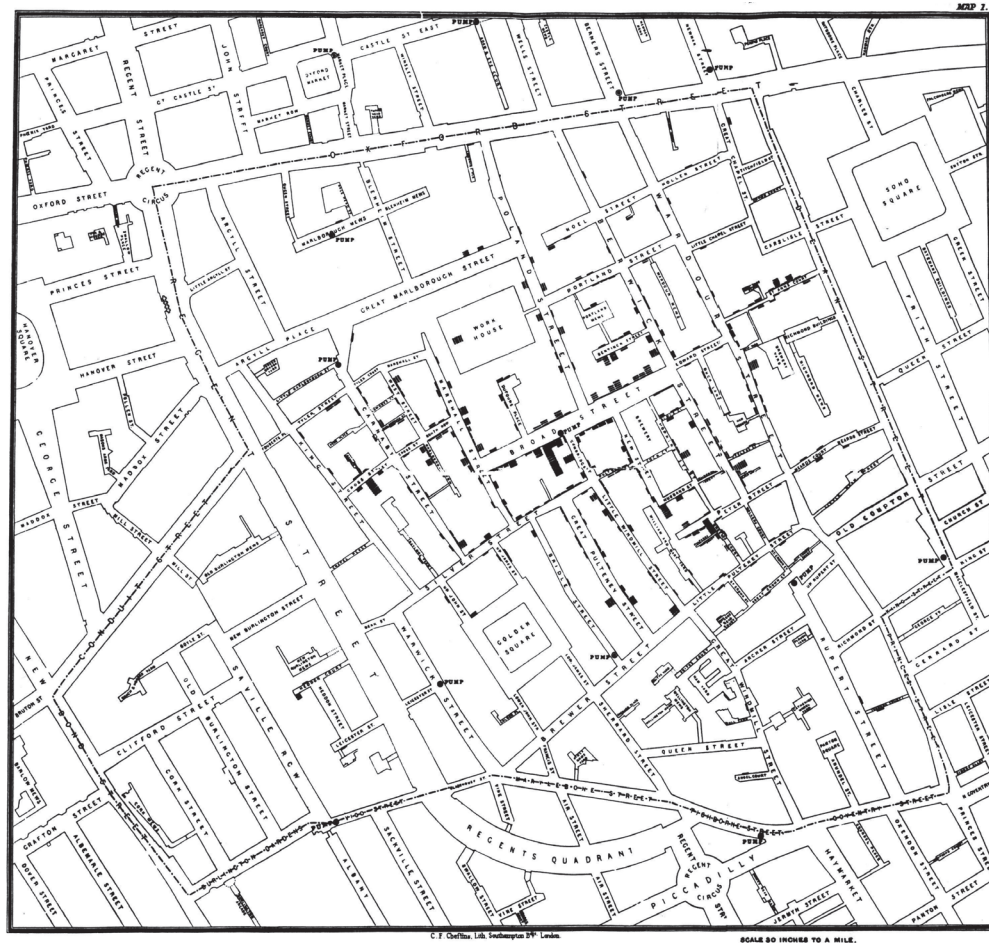
were made to represent the location of infectious diseases cases, such as the maps done by Seamon and Pascalis in 1789 with the location of yellow fever cases in New York and later, in 1854, John Snow's well-known map, with deaths for cholera in London. Nowadays the use of maps has broadened their scope to almost every disease as well as every country, so facilitating the international comparisons.⁴

The widespread use of disease mapping began at the end of the seventeenth century when the place of living was considered to be a determinant in the process of becoming ill. Scientists believed that living close to the miasma had a causal relationship with developing diseases and, therefore, mapping the occurrence of diseases could help them to locate the source of exposure. At that time, organized population census and registers of diseases were starting, and the increasing availability of data led to the interest in evaluate the geographical patterns of diseases as well as to identify the risk factors related to such patterns.⁵ During the nineteenth century there was an intense cooperation between geographers and medical doctors and it was not uncommon for geographers to join with epidemiologists or medical doctors to study geography.

Several maps were produced and published, including some atlases of health and disease, John Snow's map being the most famous example (Figure 1). In the XIX century, cholera epidemics were common in Europe, and since 1848 John Snow, a physician, had been studying the spatial distribution of deaths for cholera in London, and observing the association with the geographical areas of water distribution by different suppliers. Snow analyzed the mortality rates by district and observed that those regions served with water from polluted areas of River Thames had mortality rates about ten times than those in districts served with clean water from Thames.

During an outbreak at the beginning of 1854, hundreds of people became ill and died from cholera in a small area in the center of London. John Snow mapped all the deaths and analyzed the spatial proximity to the water pumps. He observed that most of the deaths were of those who had consumed water from the Broad Street Pump and proved his theory about contaminated water being the source of Cholera.⁵ John Snow's study can be considered the first known study of spatial epidemiology. He did not limit the use of maps to plot cases of diseases (as was usual at the time) but developed a more sophisticated design, comparing areas according to homogeneous envi-

FIGURE 1
DEATHS FROM CHOLERA DURING THE OUTBREAK OF 1854, LONDON



Source: Snow J. On the mode of communication of cholera. 2nd ed. London: John Churchill, New Burlington Street; 1855.

ronmental conditions and studying the proximity of sources of pollution.

In the late nineteenth and early twentieth centuries the miasma paradigm declined, as a consequence of advances in microbiology and Louis Pasteur's discoveries, and the new paradigm of germs dominated the medical and public health sciences. Geographical space was seen in a reductive way just as the locale where germs met with individuals.⁶ The importance of geographical space continues to decline during the late twentieth century, within the Era of chronic diseases and the theory of risk factors. That was a period where diseases were seen as a direct consequence of behavior and lifestyles. This period of epidemiology has endured until today and we are now living a transition to Social/Spatial Epidemiology where individuals are viewed in their social, economic, and cultural environment, besides their biological/genetic charge.⁶

In the social/spatial epidemiology, geographical space is essential for the understanding of the spread and distribution of diseases. More than ever, the geographical location of health events is in the context of studies. In spite of this long tradition of integrating space within health studies, the formalization of Spatial Epidemiology as a discipline is recent, with stated goals being to describe, quantify and explain geographical variations of diseases, evaluate the association between the incidence and potential risk factors and identify spatial aggregation of diseases.⁷

TYPES OF SPATIAL DATA

Spatial data are complex entities composed by a tabular (the attributes) and a graphic component (the geographical location) and can be categorized into four different types: points, lines, areas and surfaces.

Point process data consist on positions determined by a pair of coordinates which represents the exact location of the events, for instance patients residence, deaths, births and health services, such as hospitals or clinics. These points may have associated attributes that represent the intensity of the event, for instance, temperature or quality of water measured in control stations.^{8,9} Analyses involving the localization of health events, such as the occurrence of a disease, are useful to identify if there are spatial patterns or if the events are randomly distributed in the space.⁸

Lines represent spatial interaction data with the objective to map the flow of people, goods or services between origins and destinations in order to build models and make predictions. Examples of studies are the flow of patients to health centers in order to plan or allocate resources.⁹

Area data can be regular, like pixels from remotely sensed images, or irregular such as limits of municipalities, districts, census zones, etc.^{8,9} In studies using area data the objectives are to map the occurrence of health events aggregated by areas, usually expressed by rates, to detect clusters of higher (or lower) incidence (or mortality) rates, or to map ratios, for instance, number of dentists by inhabitants⁸

Spatially continuous data are also based on a set of point locations (the sample points) that are used to generate a surface which represents the phenomenon under study in a continuous region. These surfaces can be generated by different methods, many of them using a regular grid in which each cell value is calculated by interpolation from the known values of the sample points, using several mathematical functions. The points used to generate the surfaces can be true points (for instance the patient's place of residence or the water quality measured in a sample point) or conceptual points which do not represent the exact location of an event, rather the values of an entire area, for instance, the centroid (geometric center) of a municipality can be used to represent the entire municipality. Surfaces can be useful in understanding the association of health events and environmental data.⁸

These four categories of spatial data allow solving most of the spatial problems. The type of data, however, doesn't limit the type of analysis. For example, if the data is only available at area level, the analysis will not necessarily be by area. On the other hand if the data is available at point level the analysis and results

can be done at area level, by aggregating the data according to some criteria.

PUTTING DATA ON THE MAP

The first step in the spatial analysis process is to georeference the data, which is the process of referencing the data to a location on the Earth. In other words, the process of linking data to maps which can be done within a Geographical Information System (GIS). There are several ways to georeference data: by coordinates, for example, from field surveys with GPS, by areas, using a geocode, or by addresses.

When using coordinates to georeference data, the coordinates themselves will be converted to create the mapped features which will be then overlaid with other maps. The precision in the georeferencing will be in accordance with the method used to capture the coordinates. For instance if a topographic station/GPS is used, the precision can be less than 1 mm while if a simple navigation GPS is used, the precision can be around 20 m. The decision about the necessary precision depends on the objectives of the work and the scale of analysis.

To georeference area data it is necessary to have a map in the same units as the data. For instance, if there is a table with mortality rates per country it is necessary to have a map of countries; if one wants to map the number of patients by municipality then it is necessary to have a map with the limits of municipalities. The tabular information and the areas in the map need to have a common field (the geocode) in order to make the link between them. The process of geocodification by areas is, usually, very simple. There is a large availability of digital information at the level of areas, both maps and health data. The larger the area, the easier it is to have the digital maps available and the simplest the access to the health data. The access to quality data at national level is usually easy since the responsibility for collecting and providing these data is normally carried out by governmental organizations or institutions linked to governments (e.g. Registry office, postal areas, National Institutes of Statistics). However, when it comes to micro-areas (census tracts, neighborhoods) the difficulties in access to health data increase because of confidentiality regulations.¹⁰⁻¹³

Statistics of mortality and morbidity regarding large areas are, usually, available but the more detailed the area the more difficult it is to access the health data. Nevertheless, over the years there has been an increase of health data availability associated with an increase of digital good-quality maps, as a result of some efforts to standardize formats, quality and facilitating the access through the creation of websites linked to the institutions responsible for collecting that data.¹¹

In health studies it is usual to have information registered with addresses (of residence, of place of work, of school) coming from cohort participants or from a list of patients from a clinic. Addresses are the most difficult information to be georeferenced and to do so, it is necessary to have a detailed street map, with information about the names of streets and house numbers in each street segment. An added problem in georeferencing addresses is that access to detailed street maps can be very costly and easily becomes out of date. Over the past few years the development of GIS has been amazing, with increasing capacities of manipulating, organizing and analyzing spatial data. The availability of high quality digital maps has also increased and nowadays these are relatively easy to access in all countries, developed or developing. However, despite all this development, the problems of georeferencing addresses remain almost the same as twenty years ago mainly because of the poor quality in the addresses information given by individuals: either incomplete, abbreviated or with orthographic errors... In addition, in areas of poverty such as slums, especially in developing countries, sometimes there is no official urbanization, consequently no official street names or numbers and the process of georeferencing addresses is almost impossible, leading to a "spatial" bias in the epidemiological studies, because the missing in georeferencing data will be unequal according to socioeconomic conditions.

SPATIAL ANALYSIS

Spatial analysis is a broad term that comprises both statistical (spatial statistical) and non-statistical methods, and starts with the application of exploratory techniques to seek a good description of the data (like any traditional analysis), and thus help the definition of hypothesis as well as the choice of the appropriate models. The main characteristic of spatial statistical analysis, compared to the traditional statistical models, is that the places where the events

occurred are, in an explicit way, presented in the analysis. That is, the simple visualization of data in a map is not a spatial analysis. Geography plays an important role in our understanding of reality and the analysis of spatial data has been extremely facilitated through the use of GIS and the development of sophisticated methods of spatial statistics.

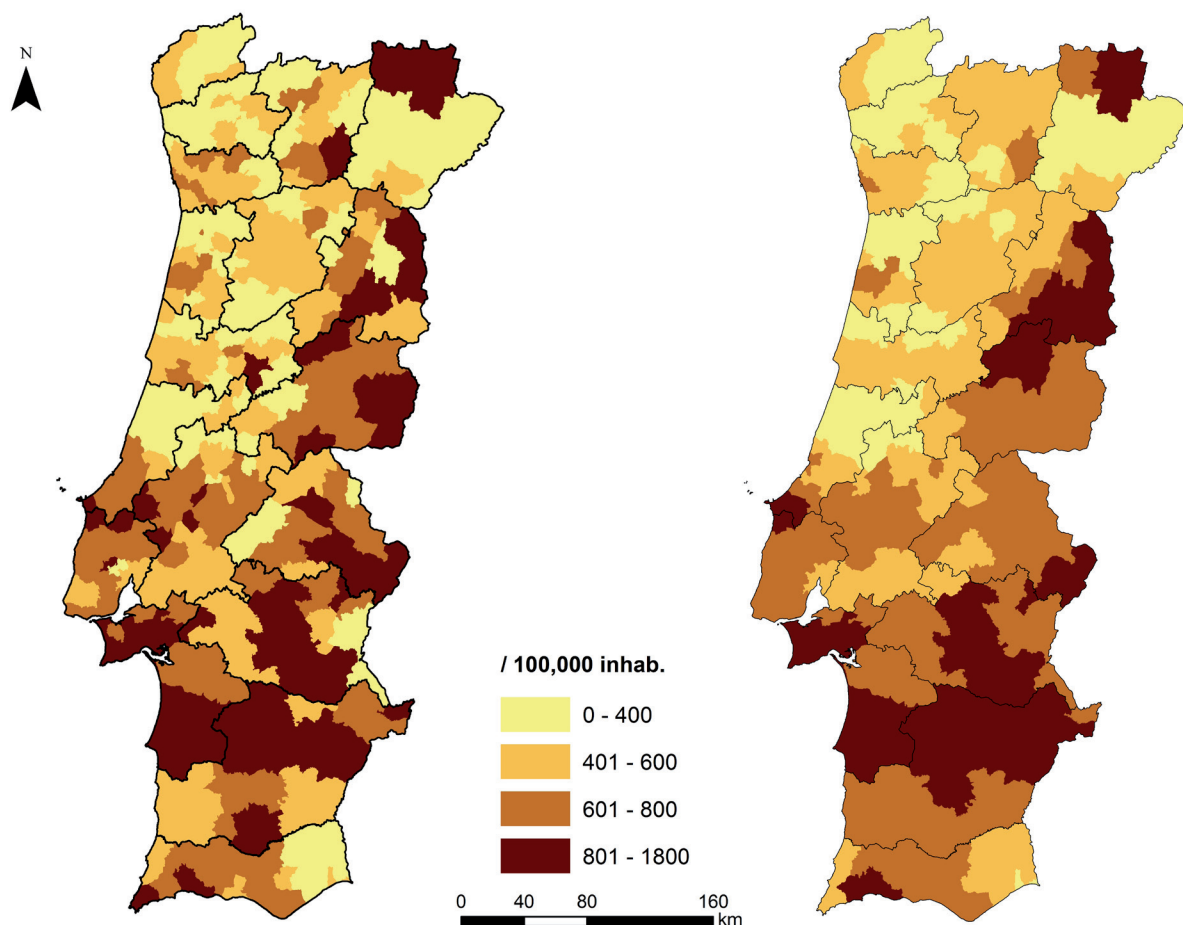
The type of data determines the type of map produced within a GIS. The most suitable maps for point process data are dot maps, where each dot represents the same quantity of events under analysis, for instance each point can represent one case of oral disease, or each point can represent 10 cases of the same disease, but always each point represents the same quantity. Variations of these maps can be obtained using proportional symbols in such a way that the size of the symbol (usually circles) is proportional to the amount measured in each position.¹⁴

To represent data by area, choropleth maps are often used, in which each area is colored or shaded according to the measurement of the statistical variable being displayed. In spite of being a basic tool for exploratory data analysis, choropleth maps should not be taken lightly. One issue to consider carefully is the classification of data into classes, a much-used procedure in map construction, since variation in the number of classes as well as in limits of intervals may lead to different perceptions of spatial patterns. To visualize spatial interaction data, the same idea of proportional symbols can be used. The symbols used are lines where the width of the line is proportional to the volume of flow; arrowheads may be added to indicate the direction of the flow, for instance the quantity of patients in a hospital or clinic, coming from each municipality.¹⁵

For spatially continuous data the objective is to produce maps that show continuity, and this is obtained by interpolation of the several sample points to a reference grid producing a surface that can be represented in a two or three-dimensional form. Exploratory methods also include some spatial statistical tools such as local/global indicators for spatial autocorrelation or different rate adjustment techniques.^{8,16}

One index often used in epidemiology is the index of spatial dependency, which can be global or local, and can be designated as an index of spatial autocorrelation because it measures the correlation between observations of the same variable in different positions in space.⁸ Global indices measure how the

FIGURE 2
MAPS OF ASHR FOR CHD (WOMEN), BEFORE EB (LEFT) AND AFTER EB (RIGHT) ADJUSTMENT



variable being studied is correlated within a region, and are useful for a holistic characterization providing a single value to the region.¹ Local indicators translate how the variable in one area is correlated to the same variable in a close neighborhood; they provide a value for each area and allow the identification of clusters. Local indicators are more sensitive to variations of the values of the variable.¹⁷

A common problem in epidemiology is the well-known Problem of Small Numbers that is related to statistical instability when calculating rates in areas with a low population and few cases, leading to random fluctuation and unreliable rates. To overcome this problem, one solution is to aggregate data, either in space, creating larger areas with larger populations, or in time, increasing the numerator in the calculation of rates. However, in both solutions there is the disadvantage of losing details (in space or in time) and the capacity to identify underlying patterns.¹⁸

An alternative way to deal with the “Small Numbers Problems” is to adjust the calculated rates using the

Empirical Bayesian (EB) approach to “smooth” the local risk. This approach is concerned with statistical estimation based on observed data and on prior knowledge of parameters of interest.⁸ The degree of “smoothing” reflects how confident we are in the local observed risk and it is a function of the size of the population and the variability of the incidence rates.⁸ The estimated incidence rates better reflect the true risk of an area, because it smoothers the artificial high incidence rates caused by few cases in small populations.

To illustrate the EB method, a practical example of the geographical distribution of age-standardized hospitalization rates (ASHR) for Coronary Heart Disease (CHD) among women in Portugal (between 2006 and 2008) is presented in figure 2.

Following an exploratory analysis, it is necessary to seek a more formal confirmation of the hypothesis initially gathered or estimate associations through the use of spatial statistical models applied to the data, for instance, Krigging models, which allow the

prediction of spatially continuous variables. Through the use of the several techniques of spatial analysis (a few of which are presented in this article) it is possible to obtain answers to the problems raised by Spatial Epidemiology, which can be divided into four major classes:¹⁹

- Disease mapping whose goal is to produce maps with the most reliable distribution of the disease.
- Ecological studies which are interested in the association between incidence and exposure to risk, measured in groups rather than individuals.
- Disease clustering problems focusing on the identification of areas of elevated risk of disease.
- Environmental Assessment and Monitoring which are concerned in gathering information on the spatial distribution of environmental variables with influence on health.

GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AND SPATIAL ANALYSIS

The GISs are computer-based systems, used to acquire, store, manage and analyze geographic information and allow the integration of data from different sources, scales, and types in the same environment.¹⁴ This possibility increased enormously the potential of analysis, putting the health events in the socioeconomic and environmental context where they occur.

The rapid development of informatics, with hardware and software components becoming cheaper and more accessible to all types of users, and the increase in the quantity and quality of geographically referenced data (collected and available) to a wide range of organizations, led to a widespread of GIS during the 80s.

Maps were traditionally seen as a way of communicating information, by the visualization of data in maps, through the use of cartographic language of symbols and colors. With the development of GIS, maps become much more than merely an instrument for transmitting knowledge, but rather an instrument for producing new knowledge. Combined with spatial statistics, GIS provides a broad set of techniques to analyze socioeconomic, environmental, health and disease data within a geographic context so improving analytical capabilities.

Visualization is the simplest and more used function of the GIS. It's well known that an "image says more than a thousand words", and what can one say about an image compared with a table? The same data dis-

played in a table or on a map give completely different information to the reader of both. Looking to data on a map, immediately gives to the reader the perception of spatial associations, which is impossible to identify in a table. Identifying where the events are occurring, which is the population affected and how close the events are, one can suggest hypotheses for further investigation. Thus, mapping of diseases is not simply a plot to determine disease incidence, rather an area of spatial epidemiology that is concerned with visualizing and exploring the real distribution of a disease through the use of the observed rates.¹⁹

As said before, through the use of GIS it is also possible to combine environmental, socioeconomic and health data, improving the analytical capacities. These systems also provide a set of sophisticated geometric tools, allowing one to overlay different maps, create areas of influence, determine flow between points (for instance, place of residence of patients, and the health service they are using), determine the best places to allocate services, etc.

Two major classes of spatial analysis processes can be developed with a GIS: queries and transformations.

The analyses performed through the use of queries are considered the most basic ones because no transformations in the data occur and no new data are produced, the system only answers questions posed by the user. The queries may focus only on attributes (non-graphic components), only on geographic features (graphic components) or on both, for example: "Which municipalities have more than 25000 residents?" focus only on the attributes, "Which are the cases within the municipality A?", focus only on the geographic features (case-points, municipality-areas) and finally "Which are the cases with age above 50 years-old within the municipality A?" that focus on both.²⁰

Transformation methods produce changes in the databases or combine them to create new ones, examples of these processes are: buffering, overlay and spatial interpolation. Buffering consists of identifying all areas that are within a certain distance of an object (point, line or area), forming a new object with these areas.²⁰ Examples of this buffering process can be the generation of exposure areas that surround certain pollution sources.²⁰

The overlay consists of putting the layers (maps) on "top" of each other, to form new maps, where the

information that composes this new map, is a combination of the information present in the maps that compose it. For example, the combination of a map containing the pollution density and another with the population density, form a new map with the information of the population exposed.

Finally, spatial interpolation, which allows the estimate of the conditions found in places where there was no information. Interpolation is used to transform a set of discrete data into continuous data, based on the sample (measured) points and using mathematical algorithms. This process is useful for example in estimating the rainfall, or temperature in places where there are no weather stations.

DENTAL HEALTH AND SPATIAL ANALYSIS

The integrative approach described previously, where individuals are no longer biologic islands but are emerged in social conditions, where health status is a sum of both components, is the best way to achieve better understanding and provide better care for all health conditions, dental included. For instance, the number of cavities and its association to food habits, quality of water, or socioeconomic conditions can be studied in a geographical context in order to identify health inequalities. The use of GIS and spatial analysis has spread among health professionals in the last thirty years, dental health included.

A study with the objective of examining the availability of dentists in Mississippi from 1970 to 2000 determined the geographical and time trends distribution of dentists, and the way these patterns were associated with the geographical distribution of the population.²¹ The results, obtained using GIS as a methodological approach, demonstrated an increasing trend in the number of dentists and identified the more attractive municipalities to the dentists. Nevertheless, the study also showed that several areas of Mississippi remained underserved and the population's access to oral health care was very limited in some municipalities.²¹

Another study analyzed the application of GIS in investigating the provision of dental care in the districts of the West Midlands, a region in England. The author states that the use of a GIS presented information in a way that increased the usefulness in the planning of dental services.²²

In the United Kingdom a study that aimed to evaluate the potential of GIS to examine the provision of den-

tal services was developed. Using a case study, the demographic profile of patients of a dental register was analyzed. The GIS approach helped to identify and analyze the patient's patterns of oral health service. The author drew attention to the importance of such studies to inform decision makers, highlighting the lack of geographical studies in oral health.²³

Another study conducted in the United Kingdom, sought to map the distribution of dentists per 1000 population in England and Wales. This approach allowed a comparison of the number of dentists with the geographical distribution of the population and their needs related to access to oral health. The study concluded that access to oral health is still limited in some regions due to a shortage of dentists, particularly in rural areas of England and Wales.²⁴

Exploring the same aspect, a study using GIS was conducted in New Zealand to determine the supply of orthodontic services, which found geographic differences in the existence of orthodontists, more concentrated on the South Island. By constructing buffer zones around orthodontic practices, the mean distance from children's residence to orthodontists was also computed.²⁵

The distribution of dentists was also studied in Australia, where, although the dentist practicing rates remained stable or increased along time, regions displayed different trends, reflecting changes in the attractiveness of practicing in rural (where the supply was significantly lower) and city areas.²⁶

In the United States a study was made with the objective of analyzing the availability of and accessibility to oral health care in Ohio, using a GIS. All dentists and dental clinics (free and low-cost) were georeferenced. The spatial analysis showed disparities in the distribution of dentists in Ohio, particularly in rural municipalities concluding the need to increase the availability of dentists in the most deprived regions (table 1).²⁷

Still in the U.S., specifically in New York City, a GIS was used to study the distribution of dental practices, which tended to be clustered around the subway lines (particularly south-eastern of the Central Park), and its relationship with geographic distribution of older adults, their ethnic origins and their socioeconomic status.²⁸

Attempting to integrate contextual variables, multi-level analyses have also been conducted. One inves-

TABLE 1
DENTIST-TO POPULATION RATIO FOR OHIO, BY REGION

Región	Total population estimate	Number of dentists	Dentist-to-population ratio
Appalachian Rural	1,459,725	464	1:3,146
Non-Appalachian	1,567,359	552	1:2,839
Suburban	1,927,657		
Metropolitan	6,283,011	857	1:2,249
		4,282	1:1,479

Source: Mascarenhas AK, Susi L. Using a geographical information system to map the distribution of dentists in Ohio. *J Am Dent Assoc.* 2002;133:641

tigation aimed to establish a relationship between the socioeconomic context and the perceived oral health, although concluding that individual attributes explained better the variance than the living context.²⁹ The prevalence of some specific oral problems was related to the region of residence. In Brazil, tooth loss (along with several individual determinants) was strongly associated with living in rural areas, together with other socioeconomic factors.³⁰

All these studies agreed on the importance of GIS to help and support the decision makers in their decisions. Many segments of the population experience one or more barriers to the access of good oral health care, including availability of licensed dentists.²¹ The additional information provided from GIS analyses is useful for decision making as well as responding to the population needs of oral health care.²¹

Maps are a potentially powerful tool for detecting problems, optimizing resource allocation/reallocation, setting priorities, and targeting intervention in areas in need. The maps can also be used for comparisons and monitoring of performance over time. Interactive Web versions of the maps can be generated with many useful features to further strengthen the organizations and decision makers.²⁴

Despite the recognized importance of the geographical methodological approach, the lack of studies in oral health is a problem pointed out by several authors of the cited examples. There is a lack of georeferenced information to analyze the spatial patterns of oral diseases and relate them to environmental factors, stressing the importance of the territory as a constitutive element in the expression of the disease events and the actors involved in the oral health-disease process.³¹

The use of geography in health is consensually accepted as important. Every epidemiological study

must take into consideration the fact that virtually all diseases, vary across geographical areas, and this variation must be analyzed systematically, in order to understand if it is real, that is, caused by environmental or social factors, or just an occurrence of a random process.³²

REFERENCIAS

1. Carvalho M, Souza-Santos R. Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas e perspectivas. *Cad Saúde Pública.* 2005; 21(2): 361-78.
2. Gatrell AC, Bailey TC, Diggle PJ, Rowlingson BS. Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. *Trans Inst Br Geogr.* 1996; 21:256-74.
3. Tobler WR. A computer movie simulating urban growth in the detriot region. *Economic Geography.* 1970 Jun; 46(Suppl.): 234-40.
4. McLeod KS. Our sense of Snow: the myth of John Snow in medical geography. *Soc Sci Med.* 2000 Apr; 50(7-8): 923-35.
5. Walter SD. Disease mapping: a historical perspective. In: Elliott P, Wakefield JC, Best NG, Briggs DJ, editors. *Spatial epidemiology: methods and applications.* New York: Oxford University Press; 2000. p. 223-39.
6. Susser M, Susser E. Choosing a future for epidemiology: I. Eras and paradigms. *Am J Public Health.* 1996 May; 86(5): 668-73.
7. Elliot P, Wakefield J. *Spatial epidemiology: methods and applications.* In: D Briggs. *Spatial epidemiology methods and applications.* Oxford: Oxford University Press; 2000. p. 3-14.
8. Bailey TC, Gatrell AC. *Interactive spatial data analysis.* Essex: Longman; 1995.
9. Assunção R. *Estatística espacial com aplicações em epidemiologia, economia e sociologia.* São Paulo: UFSCar; 2001.
10. Barcellos C, Ramalho W. Situação atual do geoprocessamento e da análise de dados espaciais em saúde no brasil. *Informática Pública.* 2000; 4:221-30.
11. Pfeiffer D. *Spatial analysis in epidemiology.* Oxford: Oxford University Press; 2008.

12. Fotheringham A. Quantitative geography perspectives on spatial data analysis. London: Sage; 2004.
13. Lawson A. Statistical methods in spatial epidemiology. Chichester: John Wiley & Sons; 2001.
14. Pina MF. O uso dos sistemas de informação geográfica na análise de dados na saúde. *Arq Med.* 2003;17.
15. Tyner J. Introduction to thematic cartography. New York: Prentice Hall; 1992.
16. Bailey T. Spatial methods and GIS in spatial epidemiology. In: III Congresso Regional de Informação em Ciências da Saúde. Rio de Janeiro; 1996.
17. Druck S, Carvalho MS, Câmara G, Monteiro AVM, editores. Análise espacial de dados geográficos. Brasília: EMBRAPA; 2004.
18. Kennedy S. The small number problem and the accuracy of spatial databases. In: Goodchild M, Gopal S, editors. Accuracy of spatial databases. London: Taylor & Francis; 1994. p. 187-96.
19. Bailey TC. Spatial statistical methods in health. *Cad Saúde Pública.* 2001 Sep-Oct; 17(5): 1083-98.
20. Longley P, Goodchild M. Geographic information systems and science. New York: John Wiley & Sons; 2001.
21. Kruause D, Frate DA, May WL. Demographics and distribution of dentists in Mississippi: A dental work force study. *J Am Dent Assoc.* 2005 May; 135(5): 668-77.
22. White DA, Anderson RJ, Bradnock G, Gray MM, Jankins P. The use of a geographical information system in investigating dental services. *Community Dent Health.* 2000 Jun; 17(2): 79-84.
23. Higgs G, Richard W. The use of geographical information systems in examining variations in sociodemographic profiles of dental practice catchments: a case study of a Swansea practice. *Prim Dent Care.* 2002 Apr; 9(2): 63-9.
24. Boulos MN, Phillipps GP. Is NHS dentistry in crisis? 'Traffic light' maps of dentists distribution in England and Wales. *Int J Health Geogr.* 2004 May 10; 3(1): 10.
25. Marriott A, McGillivray K, Benwell G, Devlin N, Harding W. The delivery of orthodontic care in New Zealand: the use of spatial information systems in a national study. 12th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre University of Otago. Dunedin, New Zealand: The Center; 2000.
26. Teusner DN. Geographic distribution of the dentist labour force. *Aust Dent J.* 2005 Jun; 50(2): 119-22.
27. Susi L, Mascarenhas AK. Using a geographical information system to map the distribution of dentists in Ohio. *J Am Dent Assoc.* 2002 May; 133(5): 636-42.
28. Borrell LN, Northridge ME, Millaer DB, Golembeski CA, Spielman SE, Sclar ED, Lamster IB. Oral health and health care for older adults: a spatial approach for addressing disparities and planning services. *Spec Care Dentist.* 2006 Nov-Dec; 26(6): 252-6.
29. Tassinari WS, Leon AP, Werneck GL, Faerstein E, Lopes CS, Chor D, Nadanovsky P. Socioeconomic context and perceived oral health in an adult population in Rio de Janeiro, Brazil: A multilevel analysis. *Cad Saúde Pública.* 2007 Jan; 23(1): 127-36.
30. Barbato PR, Nagano HCM, Zanchet FN, Boing AF, Peres MA. Tooth loss and associated socioeconomic, demographic, and dental-care factors in Brazilian adults: an analysis of the Brazilian Oral Health Survey 2002-2003. *Cad Saúde Pública.* 2007 Ago; 23(8): 1803-14.
31. Moreira RS, Nico LS, Tomita NE. The relation between space and collective oral health: for a georeferenced epidemiology. *Cien Saude Colet.* 2007 Jan-Mar; 12(1): 275-84.
32. Bhopal R. Concepts of epidemiology: an integrated introduction to the ideas, theories, principles and methods of epidemiology. Oxford: Oxford University Press; 2007.

CORRESPONDENCIA

Maria de Fátima de Pina
fpina@ineb.up.pt

Sandra Ferreira Alves
smfalves@gmail.com

Ana Isabel Correia Ribeiro
ana.isabel.ribeiro@ineb.up.pt

Andreia Castro Olhero
aolhero@ineb.up.pt

