

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRODUÇÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) EM ÁREAS URBANAS A PARTIR DE SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA

ROBERTO WAGNER LOURENÇO¹
PAULO MILTON BARBOSA LANDIM²
MARCOS CESAR FERREIRA³

Resumo

A aplicação de métodos geomatemáticos como forma de analisar o padrão de distribuição espacial de determinadas variáveis tem-se tornado uma constante em estudos cartográficos. Dentre esses métodos um dos mais simples e eficientes é o da “análise de superfícies de tendência”. Com a aplicação deste método pode-se obter dois padrões de distribuição espacial: um de natureza regional, representado pela superfície polinomial ajustada aos dados, e outro com as flutuações locais, identificando áreas com valores anômalos representados pelos resíduos. Como exemplo de aplicação dessa metodologia, foi utilizado como variável o monóxido de carbono (CO), amostrado de forma indireta na área urbana da cidade de Rio Claro/SP. Esse poluente, quando presente, influencia de modo significativo as condições ambientais em áreas urbanas, e a sua distribuição espacial, como constatada neste trabalho, é de fundamental importância para orientar estudos de planejamento em saúde urbana.

Palavras-chave: Poluição urbana; cartografia ambiental, geoestatística

¹ Geógrafo – Doutorando de pós-graduação do Curso de Geociências e Meio Ambiente – UNESP. Rio Claro – SP – robertow@rc.unesp.br

² Geólogo – Prof. Dr. Departamento Geologia Aplicada – IGCE – UNESP – Rio Claro – SP – plandim@rc.unesp.br

³ Geógrafo – Prof. Dr. Departamento de Planejamento Regional e Geoprocessamento – IGCE – UNESP – Rio Claro – SP – marcoscf@rc.unesp.br

Abstract

Application of Trend Surface Analysis to estimating Carbon Monoxide (CO) in urban areas

Application of geomathematical methods to the analysis of distribution patterns of spatial variables has been common in cartographic studies. Among those methods, one of the simplest and most efficient is the “trend surface analysis”. With the application of that method two patterns of space distribution can be obtained: one of regional nature, represented by the polynomial surface adjusted to the data points, and the other with the local floatations, identifying areas with anomalous values represented by the residues. As an example of application of that methodology, carbon monoxide (CO) was used as a variable, sampled in the urban area of Rio Claro city/SP. That pollutant, when present, influences the environmental conditions in urban areas, and its space distribution, in a significant way as verified in this work. It is, therefore of fundamental importance to guide planning studies in urban health.

Key words: urban pollution; environmental cartography, geostatistic.

INTRODUÇÃO

A concentração de qualquer poluente na atmosfera tem como um dos resultados a exposição dos seres vivos a esse processo (FELLEMBERG, 1980) e, nesse sentido, o conhecimento de sua distribuição e variação espacial surge como uma das maneiras capaz de identificar áreas com maior ou menor concentração deste poluente, bem como se este apresenta alguma direção regional preferencial de distribuição. O monóxido de carbono (CO), é um típico exemplo pertencente à categoria dos poluentes emitidos diretamente pelos veículos automotores movidos à gasolina, álcool e diesel (CETESB, 1990), podendo sua emissão ser medida de forma indireta através da quantificação do número de veículos automotores em percursos previamente definidos.

A aplicação da “análise de superfícies de tendência” para o estudo da distribuição espacial de teores de monóxido de carbono (CO) na área urbana da cidade de Rio Claro (SP), enquadra-se perfeitamente nesse tipo de preocupação em verificar as condições ambientais locais que poderão redundar em problemas de saúde para a população do município. É também uma técnica de análise que pode ser utilizada para mapeamentos urbanos como forma de se obter rapidamente indicações da distribuição de variáveis espaciais.

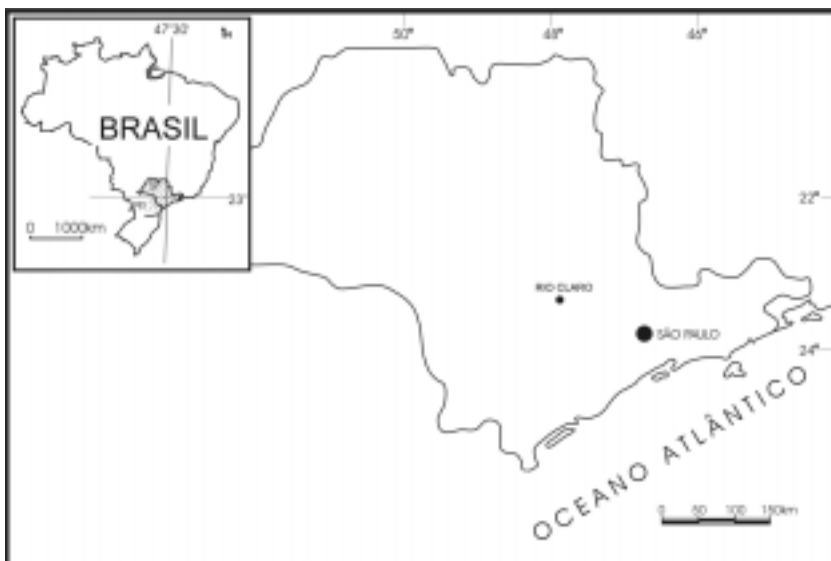
ÁREA DE ESTUDO

Situado na Depressão Periférica, o município de Rio Claro apresenta uma área de 502 km² com altitude média de 612 m. Localizado no centro do Estado de São Paulo, sua posição geográfica é de 22° 24' 36" latitude sul e 47° 33' 36" longitude oeste. Pertence à Bacia do Rio Corumbataí e é cortado pelos seus afluentes Ribeirão Claro, Passa-Cinco e Cabeça.

A área urbana da cidade possui uma topografia bem regular e plana na sua maior parte, com altitudes oscilando entre 550m e 650m. Mesmo encontrando alguns obstáculos, na maioria naturais, a expansão para outras áreas ainda não urbanizadas vem se dando de forma rápida e desordenada. A cidade passou a sofrer mudanças na estrutura urbana em expansão, ocorrendo um verdadeiro fenômeno de periferização da cidade com uma desorganização espacial com características de deterioração social cada vez mais marcante.

Assim percebe-se que o espaço urbano foi paulatinamente fragmentando-se, e tornaram-se cada vez mais importantes os meios de transporte e sua estrutura viária, tanto pelo aspecto dinâmico da circulação de bens materiais, como também para o deslocamento de seus usuários. A produção de CO está vinculada a esse quadro geral da estrutura urbana da cidade. Rio Claro é o exemplo típico de uma cidade do interior com alto grau de urbanização, crescimento razoável e um quadro sócio-econômico estável. (Figura 1)

Figura 1 – Mapa de localização da Área de Estudo



METODOLOGIA PARA REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS DADOS

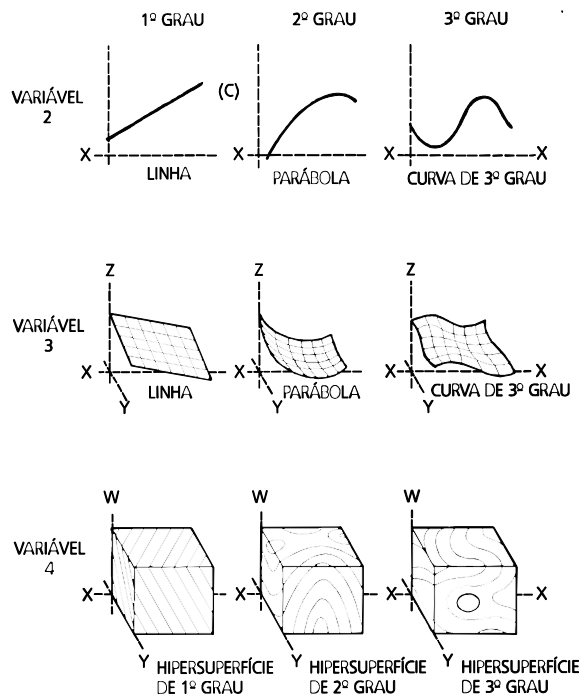
O comportamento espacial de variáveis mapeáveis pode ser mostrado com os valores distribuindo-se segundo curvas de mesmo valor, também conhecidas como isopletas. Tais mapas, como os topográficos ou os de isópacas, fornecem importantes informações, porém, em algumas situações, os padrões de variação não se mostram muito claros em virtude de flutuações locais ou valores anômalos. É comum, nessas circunstâncias, falar-se em tendências regionais que são mascaradas por anomalias locais. O método da análise de superfícies de tendência pode, então, ser utilizado para evidenciar tal situação pois, segundo esse procedimento, definem-se, aquelas pequenas flutuações, aparentemente não ordenadas, que se impõem aos padrões mais gerais (KRUMBEIN & GRAYBILL, 1965, capítulo 13 E DAVIS, 1986, p.405-35).

Em um modelo linear simples, dado um conjunto de valores que mesclam duas variáveis x e y , cuja correlação indica um comportamento linear, pode-se ajustar uma reta que melhor se encaixe a esses pares de valores pelo método dos mínimos quadrados. Esse processo permite a construção de uma única reta em relação à qual a somatória das diferenças ao quadrado entre os valores observados menos os correspondentes computados é mínima (LANDIM, 1998).

Partindo desse caso bidimensional para o modelo linear geral, a analogia é óbvia com o caso tridimensional, onde se deseja correlacionar a distribuição de uma variável dependente z em função das coordenadas x , no sentido este-oeste, e y , no sentido norte-sul. Nessas circunstâncias, deve-se calcular, em vez de uma reta, uma superfície que melhor se adapte ao conjunto de observações, por meio de técnicas matemáticas que fornecerão a melhor superfície mapeável e objetiva. Uma dessas técnicas é a análise de superfícies de tendência. Com a aplicação dessa análise, consegue-se separar dados mapeáveis em duas componentes: uma de natureza regional, representada pela própria superfície, e outra que revela as flutuações locais, representada pelos valores residuais. (Figura 2)

Tendo sido feita a coleta de modo irregular, pela área, o que normalmente acontece em Geociências, o recurso a ser usado é o do método dos polinômios não-ortogonais, tentando encaixar aos dados, preliminarmente, uma superfície linear, em seguida uma quadrática, e assim por diante. O método usual para o ajustamento aos dados é o da regressão pelos mínimos quadrados. Em seguida, essas superfícies e os respectivos desvios são examinados para que se verifiquem as suas implicações ambientais. Em alguns casos, como em problemas de suavização, o interesse é pelo melhor ajuste aos dados, e procura-se pela superfície de mais alto grau possível. Em outros, como na detecção de anomalias, o que interessa são os resíduos, e calcula-se, então, apenas a superfície de grau 1 com o respectivo mapa de resíduos positivos e negativos. Neste

Figura 2 – Comportamento espacial de variáveis dependentes condicionadas por uma variável independente (linhas), duas variáveis independentes (superfícies) e três variáveis independente (hipersuperfície) (apud, LANDIM, 1998).



caso é indiferente a verificação do ajuste da superfície aos dados já que o foco de interesse esta nos resíduos.

O modelo para a representação da superfície pelo método dos polinômios não-ortogonais é:

$$z_i(x, y) = [a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 x_i^2 + a_4 x_i y_i + a_5 y_i^2 + \dots] + e_i(x, y)$$

onde $z_i(x, y)$ é a variável mapeada em função das coordenadas x_i e y_i , e $e_i(x, y)$ representa os resíduos, ou seja, a fonte não-sistemática de variação.

A representação de uma superfície linear, por exemplo, é dada por:

$$z(x_i, y_i) = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i + e_i$$

e para uma superfície quadrática é dado por:

$$z_i(x, y) = b_0 + b_1 x_i + b_2 y_i + b_3 x_i^2 + b_4 x_i y_i + b_5 y_i^2 + e_i$$

Para o cálculo dos coeficientes a_i na superfície linear e, b_i na superfície quadrática, dispõem-se os dados num sistema de equações normais ou em forma matricial.

Uma importante constatação quando se trata de representação espacial de variáveis contínuas é, saber o quanto o modelo é confiável e uma indicação da validade da superfície de tendência calculada é dada pela análise de variância.

Sendo computadas a soma de quadrados dos valores originais da variável dependente, a soma de quadrados dos valores calculados pela superfície polinomial e a soma de quadrados das diferenças entre os valores reais e os calculados, ou seja os resíduos, obtêm-se o valor do F que será confrontado numa tabela de teste F com valores críticos a um certo nível de significância (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise de variância para verificação do ajuste da superfície

Fontes de variação	SQ	g.l	MQ	F
Regressão polinomial	SQP	m	MSP	$\frac{MSP}{MSR}$
Resíduos	SQR	n-m-1	MSR	
Total	SQT	n-1		
R^2	$\frac{SQP}{SQT} * 100\%$			

Fonte: LANDIM, 1998.

onde:

$$SQT = \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 / n, \text{ variação total};$$

SQP = variação devida à superfície calculada;

SQR = SQT - SQP, variação devida aos resíduos ou desvios e,

$R^2 = (SQP/SQT) * 100$, percentagem de ajuste da superfície;

Sendo m = número de coeficientes da equação polinomial, não contando o termo a_0 ;

N = número de observações;

H_0 = não ocorre ajuste significativo da superfície aos dados;

H_1 = ocorre ajuste significativo da superfície aos dados.

Uma discussão mais detalhada sobre esse assunto é apresentada em LANDIM (1998).

RESULTADOS

Amostragem dos valores de CO

Os dados correspondentes aos valores de *CO*, bem como a metodologia de amostragem em campo e o mapeamento isoplético do potencial de produção de *CO* na área estudada, foram obtidos de LOURENÇO & FERREIRA (1997). No trabalho realizado por estes autores, valores de *CO* foram estimados em 384 pontos de amostragem distribuídos aleatoriamente pela cidade. As medidas de emissão de *CO* foram feitas indiretamente através da quantificação do número veículos que transitaram por um percurso equivalente a 100m entre às 17:00 e 18:00 horas com 7 minutos para cada um dos pontos de coleta. A Figura 3 mostra a localização dos pontos de coleta na área de estudo.

Representação dos dados

De acordo com testes realizados por BRANCO & SZWAR (1985) veículos com velocidades entre 40 a 60 km/h possuem a capacidade de produzir 12g/km de *CO*. Logo, em um percurso de 100m, a emissão provável será de 1,2g de *CO*. As estimativas do *CO* foram calculados em intervalos de hora 1 hora, entre as 17:00 e as 18:00 horas por ser considerado como o intervalo de maior circulação de veículos. Dentro do intervalo de 1 hora (60 min), o tempo de observações foi de 7 minutos.

A fórmula utilizada para a estimativa de *CO* é mostrada abaixo:

$$CO(g) = (V.L + V.P) K$$

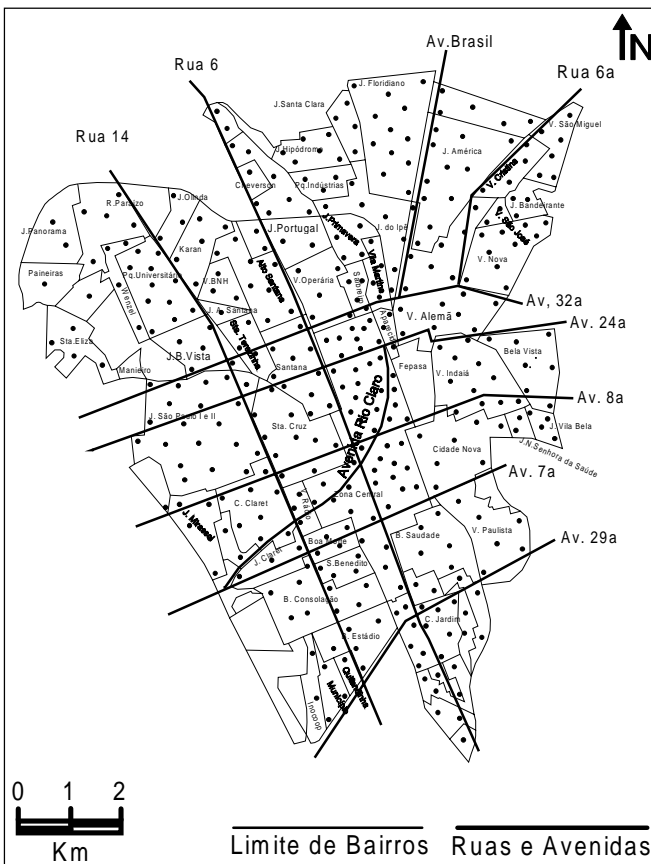
onde

$K = 1.2g$ (quantidade de CO produzido por 100 metros)

VL é o número de automóveis;

VP é o número de caminhões.

Figura 3 – Pontos de coleta de $CO(g)$ na área urbana de Rio Claro.
Fonte: adaptado de LOURENÇO & FERREIRA (1997)



Estimativas dos teores de CO

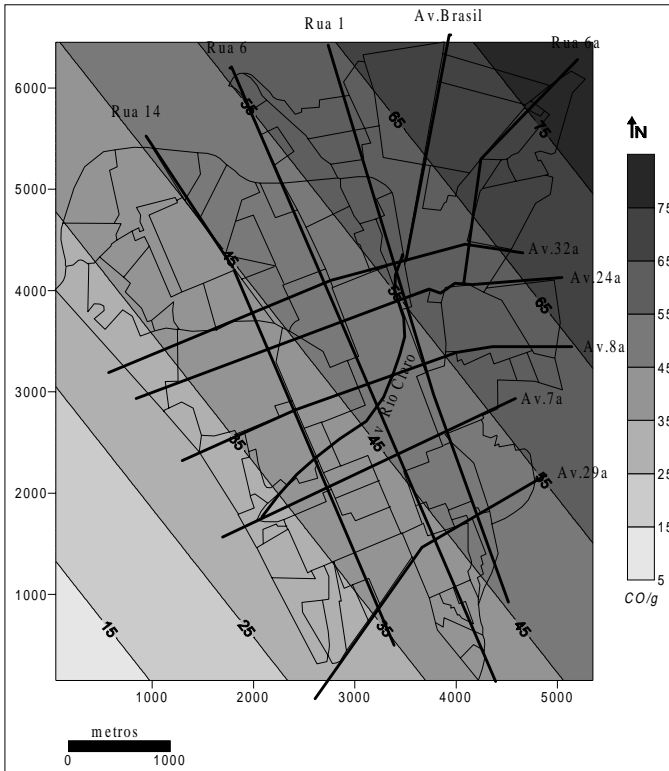
Após a digitalização dos valores CO(g) através do programa Autocad 2000 (AUTODESK, 1990), foi feita a conversão do arquivo do Autocad 2000, para um arquivo compatível com o SURFER 7.0 (1999).(Figura 3)

Em seguida, utilizando-se os recursos do SURFER 7.0 (1999) foi construído o *grid* das estimativas dos valores de CO utilizando-se para tanto do método da superfície de tendência com o objetivo de transformá-lo em uma imagem. A malha de pontos possui uma distância mínima de 70,71 metros, máxima de 300 metros e média igual a 166,02 metros. Dessa maneira, foi estimado um reticulado com espaçamento igual a 70 metros, que corresponde a menor distância encontrada.

A etapa seguinte consistiu na geração de uma superfície interpolada pelo método da regressão polinomial, de acordo com os valores dos pontos e com a dimensão do *grid* especificado para obtenção de uma superfície de primeiro grau (Figura 4) e, uma superfície contendo os valores interpolados dos resíduos(Figura 5). Neste caso, como a preocupação era ressaltar zonas anômalas com resíduos positivos e negativos em relação a tendência regional, calculou-se apenas a superfície de grau 1, sem a preocupação de verificar o seu ajuste, e as atenções foram concentradas no mapa de resíduos.

O mapa de superfície de 1º grau (Figura 4), mostra um aumento dos teores de CO de SW – NE, com clara tendência de dispersão para o quadrante nordeste da área estudada. Na verdade as concentrações se tornam mais fortes à partir da parte central do área para NE, o que pode estar sinalizando que exista um maior deslocamento de veículos neste sentido.

Com relação ao mapa de resíduos (Figura 5), são apresentados tanto valores negativos como positivos, os quais podem ser interpretados da seguinte maneira: os valores positivos indicam áreas com fortes concentrações de CO, como visto na parte central da cidade, mais precisamente na área atravessada pela Rua 6 com a Av. 7a ao Sul da cidade e, mais ao centro a mesma Rua 6 com a Av. 8a e ainda nos cruzamentos das Avs. 24a e 32a com a Av. Visconde de Rio Claro. Mais ao norte, e também em todos os cruzamentos da Rua 1 com as principais avenidas da cidade, também é observado este fenômeno, notadamente nos cruzamentos com a ferrovia que corta a cidade no mesmo trajeto da Rua 1. Os valores negativos indicam as áreas com menores concentrações, que ocorrem de uma maneira geral nas regiões SE – NW e extremo E coincidentes com as áreas mais periféricas da cidade.

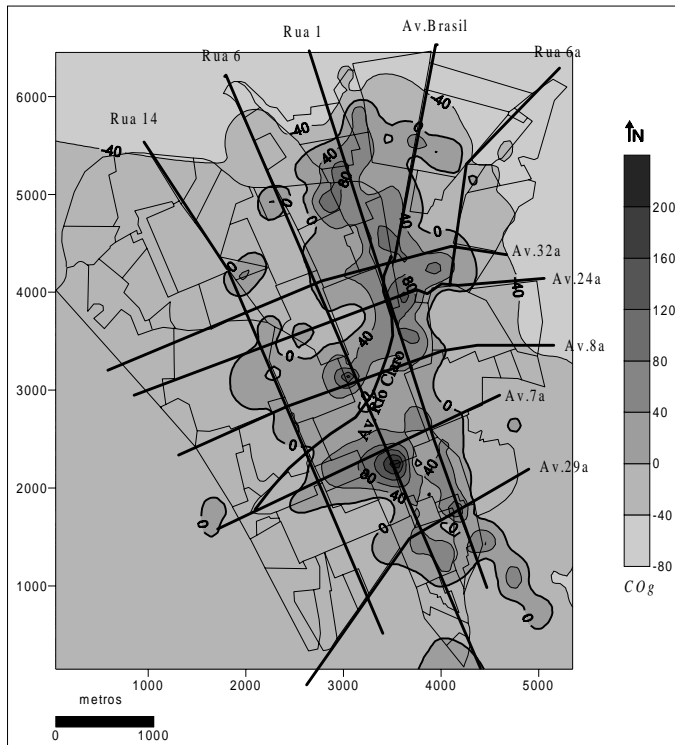
Figura 4 – Mapa de superfície de 1º grau

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mapas apresentados demonstraram ser de grande confiabilidade para este tipo de amostragem, pois possibilitam a caracterização da variável em estudo, podendo ser uma ferramenta útil no planejamento de áreas urbanas, além do que, essa análise mostrou-se de fácil e rápida aplicação.

É importante ressaltar o interessante fato de que as maiores concentrações de *CO* detectadas foram próximas dos cruzamentos das principais avenidas com as travessas da ferrovia, ou seja, áreas com valores positivos revelados pelo mapa de resíduos. Isso se encaixa perfeitamente com o desenho da malha rodoviária da cidade, visto que as vias de acesso aos principais bairros periféricos da cidade, onde moram as pessoas

Figura 5 – Mapa dos Resíduos



que trabalham nas atividades comerciais do setor central, utilizam este trajeto para trabalhar. Esta indicação de maior deslocamento de veículos e consequentemente de pessoas, pode também ser utilizado como um referencial dos setores fornecedores de mão-de-obra, pois os veículos são a forma mais comum de transporte utilizado.

Com base nesses exemplos, ficou demonstrado as possibilidades de utilização da análise de superfície de tendência, que tanto pode ser aplicada quando se está interessado na suavização das curvas de isovalores como no realce dos resíduos em relação à superfície de baixo grau.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGTERBERG, F.P. - **Geomathematics**: Elsevier Trend Surface Analysis: In **Spatial Statistics and Models**, 147–171, 1974.

AUTODESK, INC. **AutoCAD Release 2000**: Reference manual. Oakland: Autodesk, 1989. 3 v.

BRANCO, G.M.; SZWARC, - A. **Proposta de regulamentação dos limites máximos de emissão de poluentes do ar provenientes de veículos automotores novos dos ciclos otto e diesel**. São Paulo: CETESB, 1985.

CETESB. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo de 1989**. São Paulo: CETESB, 1990.

DAVIS, J.C. - **Statistics and Data Analysis in Geology**. 2nd ed. London: John Wiley & Sons, 1986.

FELLEMBERG, G. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. São Paulo: EPU, Spriner, 1980.

KRUMBEIN, W.C.; GRAYBILL, F. **An introduction to Statistical Models in Geology**. McGraw-Hill, 1965.

LANDIM, P.M.B. - **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 1998.

LOURENÇO, R.W; FERREIRA, M.C. – Metodologia para mapeamento de índices de qualidade ambiental urbana através de geoprocessamento. In: IV SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS. 4., 1997, Rio Claro. **Anais**.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer version 7**. Colorado: Golden Software, 1993-1999.

Recebido em abril de 1999
Segunda versão submetida em março de 2001