

Dispersão atmosférica: aplicação de dois modelos

George Lentz Cesar Fruehauf¹
Antônio de Castro Bruni²

Resumo Os modelos de dispersão, Valley e CDM da série UNAMAP (User's Network for Applied Modelling of Air Pollution), foram utilizados no estudo da concentração média de SO em 63 dias no bairro de Sto. Amaro, São Paulo, SP. A comparação entre os resultados dos dois modelos mostrou a forma semelhante dos campos analisados objetivamente. Comparação com dados observados no período mostrou que ambos os modelos apresentaram boas estimativas, o que indica a viabilidade de aplicação de modelos de dispersão a avaliações ambientais da qualidade do ar.

Abstract Two UNAMAP series dispersion models, VALLEY and CDM, were used to study 63 day SO concentration averages in the S. Amaro area, São Paulo, SP, Brazil. The results of both models showed a similar pattern of the objectively analysed field. Observations and model results were in good agreement indicating the applicability of dispersion models to environmental air quality evaluation.

Avaliações de qualidade do ar em dada região, a partir de dados observados, limitam-se a demonstrar a adequação da mesma aos padrões ambientais aceitáveis à saúde humana nas proximidades do local de amostragem.



A limitação espacial reside no fato de que as observações convencionais fornecem dados pontuais, sem que possamos inferir o valor da concentração fora da vizinhança destes. Também há limitações temporais que se devem ao fato destas informações serem estritamente diagnósticas. Portanto, o impacto de fontes ora inexistentes, não pode ser avaliado. As lacunas no conhecimento da qualidade do ar poderão ser, simultaneamente, preenchidas através do uso intensivo de modelos matemáticos de dispersão de poluentes atmosféricos e do Modelo Receptor para a identificação das combinações das fontes na qualidade do ar.

A agência norte-americana de proteção ao meio ambiente, EPA (Environmental Protection Agency), desenvolveu e documentou uma série de modelos de dispersão denominada UNAMAP (User's Network for Applied Modelling of Air Pollution), com o objetivo de orientar a aplicação às condições mais apropriadas (EPA 1986). Entre estes, selecionamos dois, com objetivo de estudar concentrações de SO₂ à superfície devido às emissões da Usina Termoeletrica de Piratininga na Região de Santo Amaro, São Paulo, SP.

A área de estudo é de 316 km²; possui terreno plano e está próxima aos reservatórios Billings e Guarapiranga. A ocupação do solo é caracteristicamente urbana e razoavelmente homogênea, reduzindo variações no valor da rugosidade superficial, prejudiciais aos resultados do modelo.

1. Matemático da Cetesb
2. Estatístico da Cetesb

O estudo climatológico de Soares e Silva Dias (1986), mostrou que a forçante de mesoescala que atua na região, influenciando na direção e intensidade do vento e, conseqüentemente, na estabilidade na camada limite, está associada à brisa marítima de Sudoeste. Este efeito sobrepõe-se à condição sinótica geral, associada a um anticiclone a Leste da cidade, que é a de fluxo de Nordeste ou Noroeste. Sendo que o primeiro efeito impõe ventos de maior intensidade que o segundo.

Os modelos selecionados para o estudo são o Valley (Burt 1977) e o CDM (EPA 1986), onde a sigla, em português, significa: modelo climatológico de dispersão. Por pertencerem à série UNAMAP, estes modelos têm sido utilizados internacionalmente, sendo aceitos por órgãos governamentais de controle e de preservação ambiental, mediante aplicação criteriosa.

O modelo CDM tem sido utilizado no estudo das concentrações de SO de longo período. Os estudos de Calder (1971) em S. Louis, EUA; Turner et alii (1972) em Nova Iorque, EUA; e de Prahm e Cristensen (1977) em Copenhague, Dinamarca, sugerem que o modelo se adequa a estudos urbanos podendo incluir fontes rurais próximas (Irwin e Brown, 1985). O modelo Valley foi desenvolvido visando simular a dispersão de SO₂ em regiões de terreno complexo, fornecendo o campo da concentração média em 24h. Outras opções também foram incluídas. Um exemplo da sua utilização está em Burt e Slater (1977). No Brasil, citamos a aplicação feita na Cetesb de Oliveira et alii (1985) do modelo Valley à dispersão de SO₂ em Cubatão, SP.

Descrição dos modelos

Ambos são algoritmos cujos resultados apresentam valores de concentração à superfície devido a emissões por diversas fontes estacionárias dos tipos pontual (uma única chaminé, por exemplo) ou área (diversas chaminés próximas, por exemplo) de poluentes inertes na atmosfera. Detalhes da teoria empregada nos modelos Valley e CDM e sua formulação matemática encontram-se em Burt (1977) e EPA (1986), respectivamente.

Para o fim de modelagem matemática, define-se como terreno de topografia simples aquele cujas elevações são inferiores às chaminés em consideração. Caso contrário o terreno é considerado de topografia complexa. Há também a necessidade de se classificar a área do estudo em rural ou urbana. Para isso utilizamos o critério de Auer (1978) que se baseia na utilização do solo. Se o uso do solo num raio de 3km centrado na principal fonte for mais de 50% industrial, comercial, "urbano-residencial", ou a combinação destes, a área será tida como urbana. Caso contrário ela será considerada rural.

As modalidades básicas de operação do modelo Valley são: rural e urbana; topografia simples ou complexa. Na

modalidade urbana somente topografia simples pode ser considerada. O tempo de duração do estudo é opcional, podendo ser curto, de 24 horas, ou longo, da ordem de meses ou anos. Resultados são fornecidos em 112 receptores situados em sete círculos concêntricos, cujo valor dos raios é definido pelo usuário.

O modelo CDM é recomendado em estudos onde se deseja conhecer valores médios de concentração em períodos longos, acima de um mês até um ano ou mais. Os estudos devem ser feitos em áreas urbanas com terreno plano.

Experimentos numéricos

Foram realizados experimentos numéricos utilizando condições idênticas em ambos os modelos. A opção de subida da pluma pelo método de Briggs foi selecionada nos dois casos.

As emissões deveram-se a quatro chaminés de 50m de altura e 4,4m de diâmetro interno. A temperatura do gás efluente foi de 190°C. Os demais dados que foram utilizados se encontram na *Tabela 1*.

Foram necessários os seguintes dados meteorológicos: temperatura do ar (20°C); distribuição de frequência da direção e intensidade do vento e estabilidade atmosférica no período do estudo (19/4/86 a 21/6/86). Observações foram feitas a 400m da fonte durante todo período de estudo. A tabela formada pelos dados de distribuição de frequência é denominada STAR, e é empregada em diversos modelos da série UNAMAP.

Foram definidos 112 receptores no modelo CDM com as mesmas coordenadas daquelas do modelo Valley. Este procedimento permitiu a comparação exata entre os resultados.

Resultados

Os resultados foram apresentados através da utilização de um pacote gráfico que interpola os dados (112 pontos distribuídos em 7 círculos concêntricos) em uma malha quadrada de 100 x 100 pontos e traça isolinhas. O centro do gráfico coincide com a origem do sistema, a fonte poluidora nº 1 (Tab. 1), e está assinalado com 'X' nas figuras apresentadas. A escala utilizada foi de 1:100.000. Concentrações de fundo foram desprezadas na análise.

A isolinha de concentração máxima obtida pelo modelo Valley ocorre ao Sul da fonte (Fig. 1). A direção observada do vento foi predominantemente de Norte, e, na categoria de ventos com intensidade até 1m/s o fluxo foi predominantemente do setor compreendido pelas direções Nor-Nordeste e Nor-Noroeste (a concentração é inversamente proporcional à intensidade do vento). Justificando

Tabela 1 — Localização e Dados de Emissão das Fontes

Fonte nº	Distância da origem (m)		Emissão (g/s)	Velocidade de saída do efluente (m/s)
	Norte	Leste		
1	0	0	90	17
2	300	300	90	17
3	600	600	77	11
4	900	900	77	11

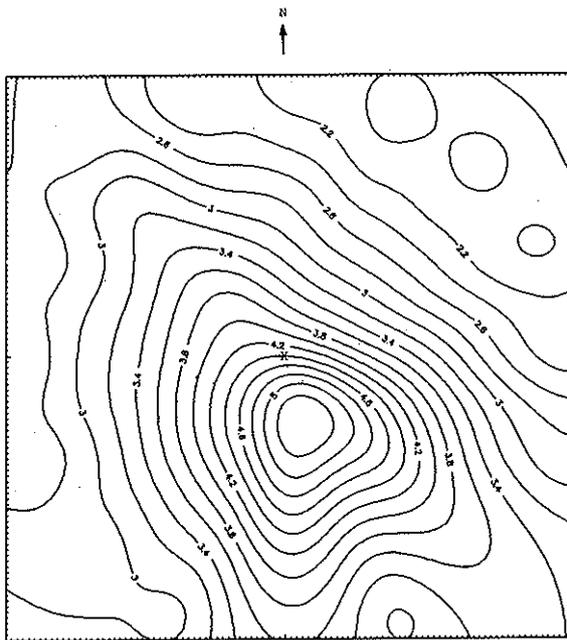


Figura 1 — Valley ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) — Escala (1:100.000) reduzida

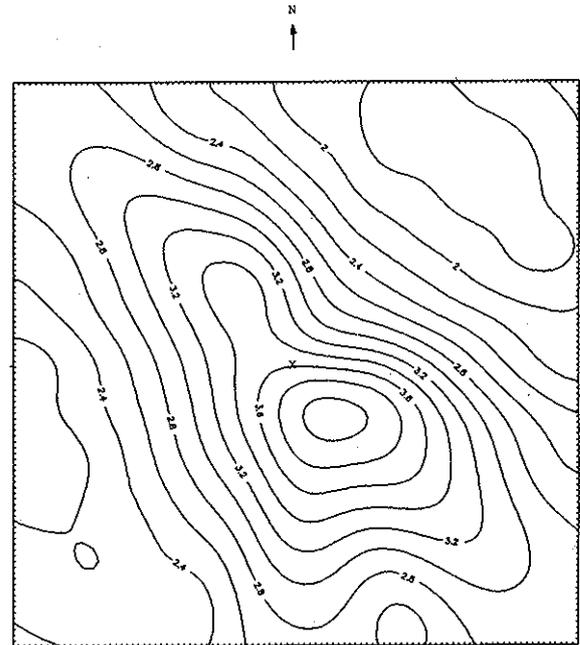


Figura 2 — CDM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Escala (1:100.000) reduzida

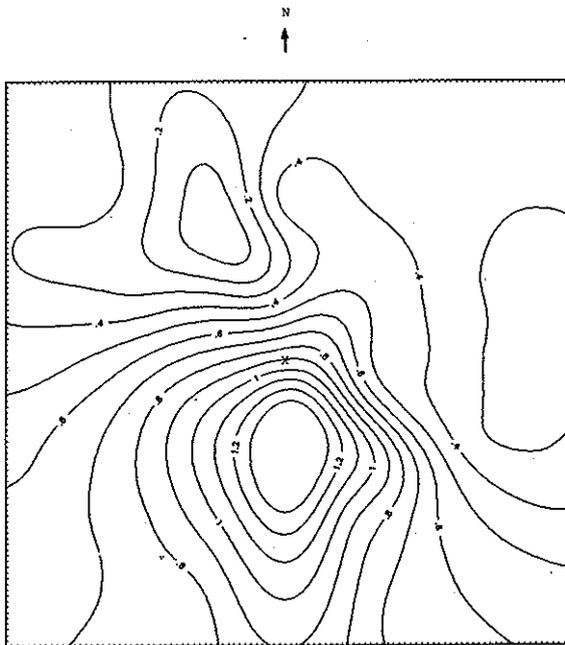


Fig. 3 — V-CDM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) — Escala (1:100.000) reduzida

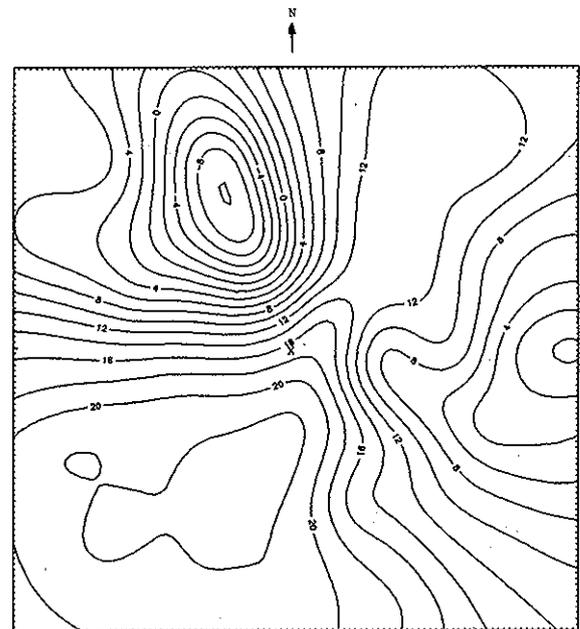


Figura 4 — (V-CDM)/V(%) — Escala (1:100.000) reduzida

portanto, a razão da localização do máximo ao Sul da fonte. A região de máximo tem a forma de 'Y' com sua base apontando para o Noroeste. As regiões principais de mínimo, portanto, estão a Nordeste e Oeste. Nota-se também uma pequena região de mínimo no extremo Sul-Sudeste. A isolinha de valor máximo é de 5,2; a de mínimo de 2,0 g/m^3 .

A isolinha de concentração máxima obtida pelo CDM (Fig. 2), a forma da região de máximo, a localização das duas regiões de mínimo principal, e até a pequena região de mínimo a Sul-Sudoeste estão de acordo com os resultados do Valley. Nesta comparação verificamos que os modelos são qualitativamente equivalentes. No entanto, quantitativamente, os resultados dos modelos diferem, por

exemplo; a isolinha máxima foi 23% menor e de 4,0 g/m³ e a mínima foi 10% menor e de 1,8 g/m³.

Em geral, resultados do Valley estiveram acima do CDM. Entretanto, houve regiões em que valores do CDM excederam os do Valley, notadamente, na área de valores intermediários, longe do ponto de máximo principal (Fig. 3). Nesta figura mostramos a diferença entre os valores obtidos pelo Valley e CDM em cada receptor. A diferença máxima ocorre ao Sul da origem, coincidindo com a região de máximo de concentração observada nos modelos. A região de diferenças mínimas situa-se a Nor-Nordeste, onde os modelos registram seus valores intermediários. No local da região de mínimo dos modelos, a Oeste, notamos uma região de transição no gráfico das diferenças. Noutra região de mínimo dos modelos, a Nordeste, as diferenças foram positivas e pequenas. A isolinha de diferenças máximas foi de 1.4 e a de mínimas de 0.1 g/m³. Notamos que o modelo CDM homogeniza mais o campo que o Valley, conseqüentemente, gradientes no modelo Valley são mais intensos, de um modo geral.

Observações de concentração foram feitas durante o estudo pela estação móvel de amostragem da Cetesb, com receptor a 400m a Noroeste da fonte. O valor médio ob-

servado da concentração de SO₂ no período foi de 4,0 g/m³, com uma imprecisão devido ao instrumento medidor de 1,3 g/m³, ou seja (4,0 ± 1,3) g/m³. O valor previsto pelo modelo Valley está entre 4,2 e 4,4 e do CDM, entre 3,4 e 3,6 g/m³. Devido à imprecisão do instrumento, concluímos que ambos os modelos avaliaram a concentração observada corretamente. Notamos que a ordem de grandeza dos valores em questão é pequena, se comparada com o padrão ambiental para SO₂ que é de 365 g/m³.

Há necessidade de se conhecer qual a importância destes dados relativamente aos dos resultados obtidos. Para isto, plotou-se o gráfico percentual das diferenças relativas ao Valley, em cada receptor (dividiu-se a diferença entre os resultados do Valley e CDM, multiplicado por cem, pelo resultado do Valley) Fig. 4. A isolinha de diferenças relativas máximas foi de 22% e ocorreu a Sul e a Sudoeste, coincidindo e estendendo-se a Oeste da região de máximo dos modelos. Esta região compreendeu cerca de 20% da área em estudo. Há duas regiões de mínimo. Uma com valores maiores a Leste, a outra com mínimo principal e negativo de -10% a Noroeste. Esta região de mínimo principal coincide com a de valores intermediários. Observamos intenso gradiente de diferenças no sentido Norte-Sul;

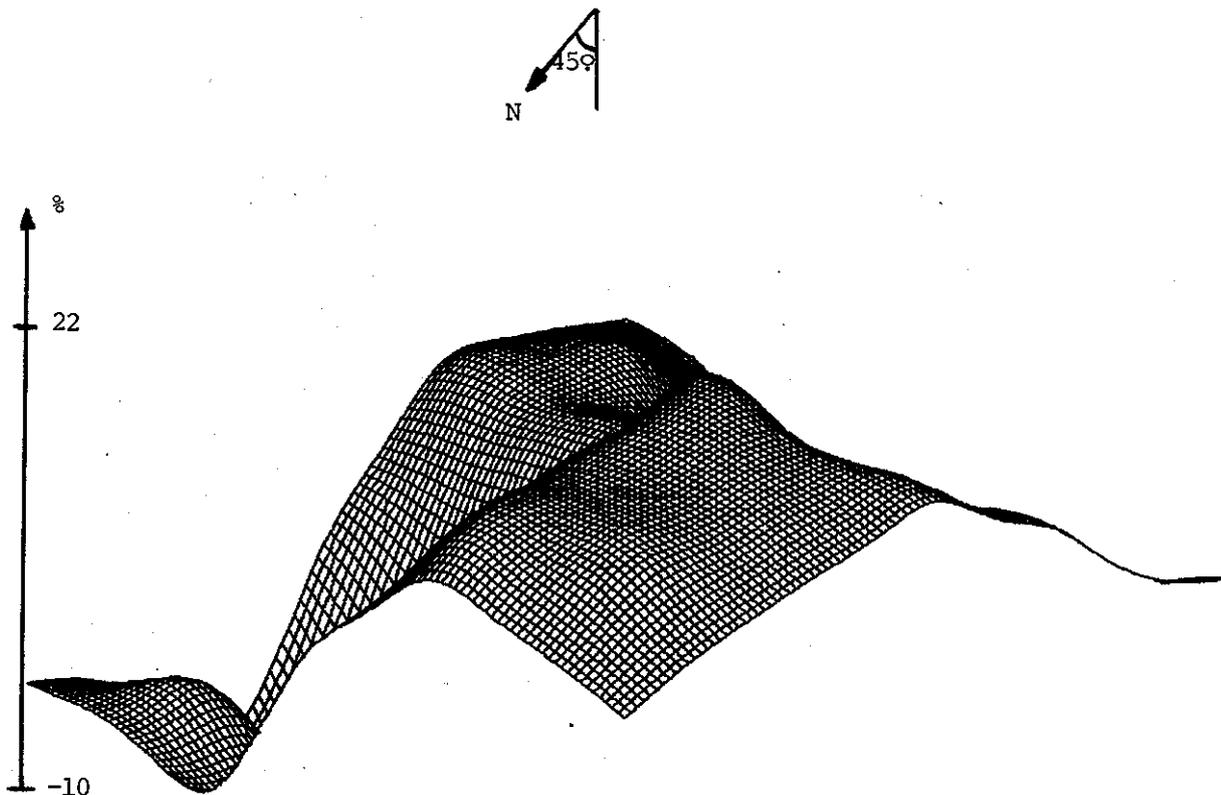


Figura 5 — (V-CDM)/V (%) — Escala (1:100.000) reduzida

-10% à 22%, ou 32% em 7.000 m, ilustrando o quanto resultados de modelos matemáticos podem ser distintos entre si, mesmo quando testados em condições idênticas.

Mostramos na Fig. 5. o gráfico das diferenças relativas percentuais em 3-D. Nesta figura vemos os mesmos dados da Fig. 4, plotados em 3-D, com rotação de 225° e elevação de 30° acima do plano $Z = 0$. Os valores mínimos, e negativos, estão à esquerda. Os valores mais elevados encontram-se à direita no plano posterior, com valores elevados (mas menores) no plano anterior. Notamos pequeno incremento no valor das diferenças na extrema esquerda da figura. Este aumento está associado às regiões de mínimo em ambos os modelos (Figs. 1 e 2). O grande cavado encontrado entre as duas regiões de diferenças elevadas à direita da figura está associado às regiões de valores intermediários nos modelos.

Conclusão

Mostramos a capacidade dos modelos Valley e CDM em estimar valores médios de concentração de SO em longo período. Ao comparar resultados dos dois modelos, verificamos que o Valley apresenta gradientes mais intensos e valores mais elevados que o CDM, em geral. Observações feitas durante o estudo mostraram que ambos os modelos avaliaram a concentração corretamente. Ressaltamos a necessidade de aplicar-se modelos de dispersão criteriosamente, escolhendo-se, para cada caso, o modelo apropriado. Esta escolha envolve a utilização do modelo mais adequado às condições topográficas, de ocupação do solo, aos tipos de fontes (pontual, linha ou área), ao número e disposição das mesmas, à duração do estudo e, finalmente, ao poluente emitido (EPA 1986). Observamos que o número de modelos da série UNAMAP, versão 4, é 23, o que ilustra seu potencial em avaliar situações diversas de emissão e dispersão, como também o quanto os resultados dos modelos podem ser distintos entre si.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Dr. Alberto Setzer do I.N.P.E. pelas suas valiosas sugestões e por ter cedido o

código em FORTRAN do modelo CDM. Agradecemos também a assistência do Departamento de Informática da Cetesb no uso do computador, IBM 4341, utilizado neste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Auer Jr. A.H. 1978, "Correlation of Land Use and Cover with Meteorological Anomalies", *Journal of Applied Meteorology*, 17:636-643.
- Burt E.W., e H.H. Slater 1977, "Evaluation of the Valley Model", *Joint AMS/APCA Conference on Applications of Air Pollution Meteorology*, November 29 — December 2, 1977. Salt Lake City.
- Burt E.W. 1977, "Valley Model User's Guide", EPA-450/2-77-081, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- Calder K.L. 1971, "A Climatological Model for Multiple Source Urban Air Pollution", Chap. I, *Proceedings of the 2nd Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modelling*. NATO/CCMS Report No.5. (NTIS PS-240 565).
- Environmental Protection Agency, 1986. "Guideline on Air Quality Models (Revised)", EPA-450/2-78-027R. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- Irwin J.S., e T.M. Brown 1985, "A Sensitivity Analysis of the Treatment of Area Sources by the Climatological Dispersion Model", *J. of Air Poll. Control Assoc.* 35: 359-364.
- Oliveira, S., A.C. Bruni, M.A.L.A. Sagula, C.M.D. Ferrari 1985, "Resultados Preliminares do Modelo Matemático de Dispersão VALLEY", *Relatório Interno Cetesb — O.S. 52.03.09*.
- Prahm L.P., e M. Cristensen 1977, "Validation of a Multiple Source Gaussian Air Quality Model", *Atmos. Environ.* 11: 791.
- Soares J.R., e M.A.F. Silva Dias 1986, "Possibilidade de Ocorrência de Alguns Eventos Meteorológicos Extremos na Cidade de São Paulo", *Revista Brasileira de Meteorologia Vol. 1 p 67-75*.
- Turner D.B., A.D. Zimmerman and A.D. Busse 1971, "An Evaluation of Some Climatological Dispersion Models", Chap. VIII, *Proceedings of the 2nd Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modelling*. NATO/CCMS Report No. 5. (NTIS PS-240 565).

