

" DESENVOLVIMENTO DE MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMAR EMISSÕES
FUTURAS"

RELATÓRIO PRELIMINAR

Meta VI - 1 - 8

Projeto nº 8 - CPAR

Fase I - Novembro/76



ARQUIVO TECNICO

Desenvolvido pela Divisão de Fontes Estacionárias Não Industriais - DFE.

8300
C338d(RCET)
002348



002348

B300
C338d (RCET)
002348

CLASS	
	2348

RECEIVED
JUN 1 1974
U.S. AIR FORCE
AFSCENT

RECEIVED
JUN 1 1974
U.S. AIR FORCE
AFSCENT

I. INTRODUÇÃO

O presente estudo visa levantar informações para o cumprimento da meta VI-1-8:

"Fazer projeções futuras das atuais emissões poluidoras considerando alterações de tecnologia, população, industrialização e transporte nas áreas críticas (GSP e Cubatão)".

II. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O planejamento e administração do recurso ar de uma determinada região deve ter o objetivo de manter a qualidade do ar dentro dos padrões de qualidade estabelecidos em lei em qualquer tempo.

A qualidade do ar atual pode ser avaliada por meio de medições (amostragem) ou modelos de dispersão, uma vez que todos os dados são mensuráveis.

A qualidade de ar futura só poderá ser estimada através do conhecimento das tendências de evolução do sistema ambiental em estudo a qual determinará as emissões futuras de poluentes.

Em vista da complexidade do estudo, iniciaremos o programa de desenvolvimento do modelo proposto, dividindo em 3 fases:

1. Levantamento de parâmetros que possam representar da melhor maneira o potencial de poluição de uma determinada região.
2. Seleção e inter-relacionamento dos parâmetros consi

derados na fase 1, visando expressões matemáticas simplificadas (modelos matemáticos) que indiquem a evolução das emissões com o tempo.

3. Análise crítica da sistemática adotada e conclusões.

III. CONSIDERAÇÕES GERAIS

a) Modelos Matemáticos

Os modelos matemáticos são utilizados para o estudo sistemático de diversos fenômenos, objetivando uma representação adequada no tempo, bem como um melhor entendimento dos fatores intervenientes.

Os sistemas que evoluem no tempo envolvem parâmetros, sinais, variáveis, etc, e podem ser representados através de uma função de transferência que especifica qual o comportamento do sistema quando se solicita uma série de características do mesmo.

A interdependência entre as variáveis deve ser analisada objetivando o relacionamento do sistema entre as características mensuráveis do mesmo através de uma forma matemática bem definida.

b) Fatores de Densidade de Emissão

O desenvolvimento de um modelo para prever distribuição e densidade de emissão de poluentes em função do tempo deve levar em conta a quantidade de resíduo produzido em função da tecnologia utilizada, economia industrial, população urbana e operária, demanda e disponibilidade de recursos naturais, níveis de atividade, fatores de emissão, utilização de energia, parâmetros de urbanização, parâmetros de industrialização, transportes e uso do solo.



Existem 3 diferentes aproximações para se desenvolver os fatores de densidade de emissão:

- O desenvolvimento dos fatores de densidade de emissão e projeções baseadas na classificação de uso do solo.
- O desenvolvimento dos fatores de densidade de emissão e projeções baseadas na localização presente e na composição das atividades industriais em cada região.
- Previsão das emissões futuras baseadas em fatores de emissão relacionados a atividade econômica.

A escolha do método ou dos métodos dependem dos dados disponíveis e das características da região em estudo.

De maneira a estudar as emissões de poluentes em regiões contendo muitas fontes pode-se analisar as áreas de várias maneiras:

- Analisar preliminarmente a emissão total da região em estudo (GSP), e distribuir as emissões igualmente para cada sub-região.
- Analisar os casos particulares (áreas industriais, comerciais e residenciais) obtendo-se uma melhor aproximação dos parâmetros obtidos nos item anterior.

c) Principais Fatores Intervenientes

O desenvolvimento do modelo para prever as tendências de emissões de poluentes atmosféricos deve considerar:

- as emissões atuais, tipos de poluentes emitidos e sua distribuição espacial,
- os parâmetros de crescimento econômico, demográfico e industrial,

- a classificação, o número e a distribuição das indústrias,
- o consumo atual de combustíveis bem como sua disponibilidade e a demanda energética,
- o uso do solo, as vias de acesso e a força de trabalho,
- a estratégia de controle de poluição, as técnicas de controle de emissão, as inovações tecnológicas e a idade e atividade dos estabelecimentos
- o número de veículos produzidos e em circulação.

d) Necessidades e Limitações do Modelo

O modelo matemático a ser desenvolvido requisitará diversos tipos de informações (técnicas, econômicas e sociais) e pela sua complexidade deverá ser desenvolvido com o auxílio de técnicas computacionais. Os resultados deverão ser analisados cuidadosamente e com o correr do tempo o próprio modelo deverá ser calibrado e refinado. Outrossim, ao surgirem dificuldades operacionais no desenvolvimento do modelo, tais como, inexistência ou dificuldades na obtenção dos dados, ou redução do custo e tempo de elaboração do modelo, simplificações deverão ser assumidas e sua repercussão analisada e, quando possível, avaliada.

IV. RELAÇÃO PRELIMINAR DE ALGUNS PARÂMETROS NA FASE 1

a) Produção e Consumo de Combustíveis na Área

- Tipos de combustíveis
- Forma de distribuição, armazenamento e utilização

b) Parâmetros de Crescimento Urbano da Área

- Densidade demográfica

- Taxa de crescimento populacional
- Taxa de urbanização
- Índice de saturação da área

c) Parâmetros de Industrialização

- Número de indústrias existentes
- Classificação por tipo de atividade/emissão
- Estimativa da emissão atual por tipo de poluente
- Projeção do desenvolvimento industrial da área
- Dados do inventário de fontes

d) Programa de Controle de Poluição do ar, a ser aplicada na área

- Estratégia de controle de emissão
- Técnicas de controle de emissão

e) Produção e Dispersão de Resíduos Sólidos na Área

- Lixo per capita
- Meios de disposição

f) Plano Diretor de Uso e Ocupação do Solo da Área

- Zoneamento da área

g) Meios de Transporte

- Veículos automotores
- outros

IV ENGENHARIA DE SISTEMAS AMBIENTAIS

4.1. IMPACTO E MEIO AMBIENTE

4.1.1. IMPACTO, CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO E DETERIORAÇÃO AMBIENTAL (19)

Uma das questões que permanece em dúvida é a discussão sobre a natureza da relação entre o tamanho da população humana e o seu efeito sobre a ecologia do planeta.

As necessidades humanas de água, metais, energia, etc., juntamente com os métodos de extração e transformação dos recursos naturais criam um problema de eliminação de refugo com consequências adversas sobre o ecossistema.

O impacto total de uma sociedade sobre o ecossistema pode ser expresso pela relação:

$$I = P \times F$$

onde : I = impacto total

P = tamanho da população

F = impacto per capita

Naturalmente muitas variáveis afetam o tamanho da população, e o impacto per capita afetam-se mutuamente. Estas interações envolvem biologia, tecnologia, meteorologia, economia e recursos naturais, etc. Por exemplo, o impacto per capita associado com um dado nível de consumo de metais é menor se for empregada a reciclagem em lugar de conversão direta de recursos naturais em refugo; analogamente o impacto é menor se for empregada uma tecnologia adequada para o controle da emissão da referida conversão.

4.1.2. AUMENTO DE IMPACTO

Consideremos I , P e F os valores iniciais do impacto total, do tamanho da população e do impacto per capita e ΔI , ΔP e ΔF os aumentos observados nessas quantidades durante certo tempo.

$$I = P \times F \quad (1)$$

O subsequente impacto total é

$$I + \Delta I = (P + \Delta P) \cdot (F + \Delta F) \quad (2)$$

O aumento relativo é obtido dividindo a equação (2) pela equação (1):

$$\frac{I + \Delta I}{I} = \frac{(P + \Delta P)}{P} \cdot \frac{(F + \Delta F)}{F} \quad (3)$$

$$\text{ou } 1 + \frac{\Delta I}{I} = \left(1 + \frac{\Delta P}{P}\right) \cdot \left(1 + \frac{\Delta F}{F}\right) \quad (4)$$

onde $\Delta I/I$, $\Delta P/P$ e $\Delta F/F$ são os aumentos fracionários em I , P e F

Por exemplo, suponhamos que uma boa medida do impacto ambiental seja a produção de energia (realmente uma hipótese muito razoável). Se nos Estados Unidos a produção total de energia aumentou 140% entre 1940 e 1960, enquanto a população aumentou 53%, temos que

$$\frac{\Delta I}{I} = 1,40; \frac{\Delta P}{P} = 0,53$$

e, a partir da equação (4)

$$\frac{\Delta F}{F} = 0,57$$

O aumento per capita na produção de energia foi de apenas 57%. O que, combinado com um aumento quase

idêntico na população, levou a um aumento relativo de 2,4 no impacto.

$$\left(1 + \frac{\Delta P}{P}\right) \left(1 + \frac{\Delta F}{F}\right) = 1,53 \times 1,57 = 2,40 = \frac{I + \Delta I}{I}$$

Evidentemente a equação do impacto é não linear, isto é,

$$I = P(I, F) \times F(P)$$

o que significa que o tamanho da população, o impacto total e o impacto per capita se inter-relacionam por uma equação não linear a ser determinada por análise conveniente.

4.1.3. EMISSÃO DE POLUENTES EM FUNÇÃO DO TEMPO

Para se obter uma projeção da emissão de poluentes deve-se considerar todos os parâmetros disponíveis e considerados importantes.

A projeção da emissão total de cada poluente (P_i) pode ser determinada a partir da emissão atual de cada poluente por tipo de fonte (K_{ij}) multiplicada pela função de crescimento de emissão para cada atividade e cada região (f_{ij})

A emissão atual (K_{ij}) obtida através da análise do inventário e a função de crescimento (f_{ij}) é obtida através / da análise dos parâmetros de crescimento regional.

$$P_i = \sum_{l=1}^k P_{il} = \prod_{i,j=1}^n |K_{ij}| |f_{ij}|$$

Onde

P_i = projeção da emissão total de cada poluente

P_{il} = projeção da emissão de cada poluente por classificação de fonte

K_{ij} = emissão por tipo de poluente e classificação de fonte

f_{ij} = função de crescimento

CODIFICAÇÃO

- | | | | | | |
|---------|---|--------|---------|---|--------------------------|
| $i = 1$ | - | SO_x | $j = 1$ | - | queima de combustível |
| $i = 2$ | - | MP | $j = 2$ | - | processamento industrial |
| $i = 3$ | - | CO | $j = 3$ | - | veículos automotores |
| $i = 4$ | - | NO_x | $j = 4$ | - | incineradores |
| $i = 5$ | - | HC | $j = 5$ | - | outros |

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} SO_x \\ MP \\ CO \\ NO_x \\ HC \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{15} & \dots \\ K_{21} & & & & \\ \vdots & & & & \\ \vdots & & & & \\ K_{51} & & & & \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{15} & \dots \\ f_{21} & & & & \\ \vdots & & & & \\ \vdots & & & & \\ f_{51} & & & & \end{bmatrix}$$

4.1.4 - SISTEMAS AMBIENTAIS

Um sistema é uma coleção de componentes arranjados e interrelacionados de tal maneira que quando uma mudança ocorre em um componente o efeito desta mudança é sentido por todas as outras variáveis.

Os modelos para descrever o comportamento de um sistema ambiental são de 3 tipos.

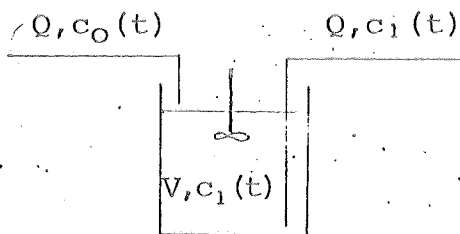
- a) modelos fenomeno-transporte
- b) modelos empíricos
- c) modelos de balanço populacional e energético

O modelo fenomeno-transporte é proveniente dos conceitos de balanço de massa, energia e momento.

O modelo empírico é desenvolvido do tratamento estatístico de dados

O modelo de balanço populacional considera o tempo de residência, a distribuição, e outras características do sistema.

O modelo fenomeno-transporte



ENTRADA

SISTEMA

SAIDA

$$c_0(t) \rightarrow \left[\frac{dc_1}{dt} = \frac{Q}{V}c_0 - \frac{Q}{V}c_1 - kc_1 \right] \rightarrow c_1(t)$$

No modelo retro temos: tanque com fluxo contínuo completamente misturado.

Taxa de acumulação = o que entra - o que sai - o que desaparece

$$V \frac{dc_1}{dt} = Qc_0(t) - Qc_1 - kc_1V \quad - 1$$

Onde : c_1 = concentração de material no tanque e descarga $[FL^{-3}]$

c_0 = concentração de material na entrada $[FL^{-3}]$

V = volume do tanque $[L^3]$

k = constante de primeira ordem $[t^{-1}]$

Q = fluxo volumétrico $[L^3 t^{-1}]$

O balanço volumétrico no tanque

$$\frac{dV}{dt} = Q_0(t) - Q_1(t) \quad - 2$$

A equação - 1 pode ser rearranjada para dar

$$\frac{dc_1}{dt} + ac_1 = \frac{Q}{V}c_0(t) \quad - 3$$

Onde:

$$a = \frac{Q}{V} + k \quad [a] = [T] \quad - 4$$

A equação geral 3 pode ser resolvida para

$$c_1 = \frac{Q}{V} e^{-at} \int_0^t c_0(t) e^{at} dt + c_{1i} e^{-at}$$

Onde : $c_{1i} = c_1$ quando $t = 0$

Se variarmos a função de entrada $c_0(t)$ no tempo teremos

TIPO DE ENTRADA	TIPO DE $c_0(t)$	CONCENTRAÇÃO $c_1(t)$
Constante	c_0	$\frac{c_0 Q}{a V} (1 - e^{-at}) + c_{1i} e^{-at}$
Linear	$c_0 \pm bt$	$\frac{c_0 Q}{a V} (1 - e^{-at}) \pm \frac{b Q}{a^2 V} (1 - e^{-at} - at) + c_{1i} e^{-at}$
Exponencial	$c_0 e^{\pm bt}$	$\frac{c_0 Q}{a \pm b V} (e^{\pm bt} - e^{-at}) + c_{1i} e^{-at}$

4.1.5. MODELO LOGISTICO DE CRESCIMENTO POPULACIONAL

O crescimento de uma população, em um espaço confinado com um determinado input de energia, obedece a uma curva definida que é função do tempo e da taxa de crescimento.

A taxa de crescimento é:

$$R = rN$$

Onde: R = taxa de crescimento

r = taxa intrínseca do crescimento

N = número de indivíduos

A função acima pode ser aprimorada pela introdução de um fator limitante do crescimento populacional (K). Este fator age na taxa de crescimento e é função do número de indivíduos e do input de energia, e expresso como o máximo número suportável de indivíduos.

$$R = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right)$$

Diferenciando temos:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right)$$

$$dt = \frac{dN}{\frac{r}{K} N (K - N)}$$

Resolvendo para $t_0 = 0$ e $n_0 \neq 0$ e integrando

$$\int_0^t r dt = \int_{N_0}^N \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{K - N} \right) dN$$

$$e^{rt} = \frac{N(K - N_0)}{N_0(K - N)}$$

$$N = N_0 e^{rt} \left(\frac{K - N}{K - N_0} \right)$$

Se o valor de K é muito alto em relação a N e N_0 , ou os valores de entrada de energia e número de indivíduo são ilimitados, a equação assume o valor exponencial.

$$N = N_0 e^{rt}$$

A expressão que se aplica ao crescimento da população é expressa por

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

onde N_0 = população no instante 0

r = taxa de crescimento

t = tempo em anos

O valor de r pode ser a diferença entre a taxa específica de natalidade instantânea e a taxa específica de mortalidade. Pode também considerar valores de imigração e emigração em localidades urbanas.

A equação de representação do modelo logístico pode ser representada de forma mais compacta.

$$N = K_S (1 - e^{a-bt})^{-1}$$

onde

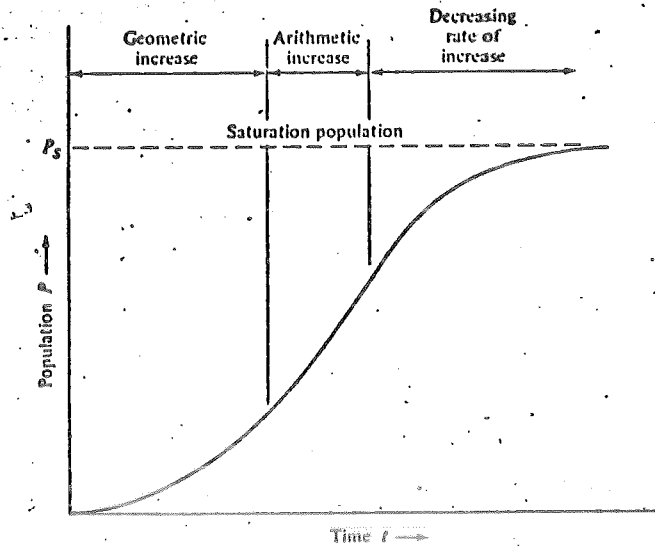
$$K_S = \frac{2N_0 N_1 N_2 - N_1^2 (N_0 - N_2)}{N_0 N_2 - N_1^2}$$

$$a = \ln \frac{K_S - N_0}{N_0}$$

$$b = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{N_0 (K_S - N_1)}{N_1 (K_S - N_0)}$$

N_0 ; N_1 ; N_2 = População em 3 diferentes anos equidistantes na sucessão

Δt = Número de anos entre N_0 e N_1 ou N_1 e N_2



CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

OUTROS MÉTODOS DE PROJEÇÃO DE POPULAÇÃO

MODELO LINEAR

$$\frac{dP}{dt} = r$$

$$P = P_0 + rt$$

MODELO GEOMÉTRICO

$$\frac{dP}{dt} = rP$$

$$P = P_0 e^{rt}$$

Observação: O IBGE utiliza o seguinte modelo

$$P = P_0(1 + r)^t$$

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

4.1.6. - MODELOS DE CRESCIMENTO REGIONAL (32 e 41)

Um modelo de crescimento regional pode ser desenvolvido a partir da análise econômica de INPUT - OUTPUT da região.

Esta análise é uma técnica econômica focalizada na interdependência entre as várias indústrias ou setores e o relacionamento destes setores e os consumidores finais.

Cada entrada de bens e serviços entre setores da economia é registrada em um modelo duplo como dupla venda (output) e dupla compra (input) na tabela A.

O quadrante I contém a demanda final (ou uso), que é essencialmente a saída (output) líquida da economia.

O quadrante II contém a matriz de elementos que identificam as transações inter-industriais, que ocorrem entre as regiões entre as indústrias que produzem as comodidades e aquelas que são consumidas.

O quadrante III contém o vetor de alinhamento da soma do valor adicionado ao valor das matérias primas na produção de comodidades e o valor das compras importadas. O valor adicionado inclui itens como salários, lucros, taxas, etc.

O quadrante IV contém um vetor do valor adicionado, associado com os itens inclusos nas categorias de uso final listados no quadrante I.

Uma dada economia é dividida entre N diferentes setores (ou indústrias).

$$X_i = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{ij} + \dots + x_{in} + Y_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad -1$$

X_i = output total do setor i

x_{ij} = montante de comodidade i requerida pelo setor j

Y_i = uso total final para comodidade j

TABELA A

BASIC INTERINDUSTRY ACCOUNTING SYSTEM*

	Purchasing sectors						Gross output
	Final use (net output)						
	Intermediate use	Investment	Consumption	Government	Exports	Total final use	
Sector	1 ... j ... n						
Producing sector 1	$x_{11} \dots x_{1j} \dots x_{1n}$	I_1	C_1	G_1	E_1	Y_1	X_1
2	(quadrant II)	..		(quadrant I)			\vdots
\vdots	\vdots			G_j	E_j	Y_j	X_j
\vdots	$x_{i1} \dots x_{ij} \dots x_{in}$	I_i	C_i	G_i	E_i	Y_i	\vdots
\vdots	\vdots			G_n	E_n	Y_n	\vdots
\vdots	$x_{n1} \dots x_{nj} \dots x_{nn}$	I_n	C_n	G_n	E_n	Y_n	X_n
Primary inputs (value added and imports)	$V_1 \quad V_j \quad V_n$	V_I	V_C	V_G	V_E	V	V
	(quadrant III)			(quadrant IV)			
Total production	$X_1 \quad X_j \quad X_n$	I	C	G	E	Y	X

* After E. M. Lofing and P. H. McGahey, "Economic Evaluation of Water, Part IV. An Input-Output and Linear Programming Analysis of California Water Requirements," table 1, Sanit. Eng. Res. Lab., University of Calif., August 1968.

Que na forma matricial é

$$X = AX + Y \quad \text{ou} \quad (I - A)X = Y$$

I = matriz identidade $n \times n$

$I - A$ = matriz de elementos $(1 - a_{ij})$ na diagonal e $-a_{ij}$ nas outras posições.

Por inversão a matriz fica transformada em

$$X = (I - A)^{-1} Y$$

Esta equação resolve a solução geral para uma matriz $(n \times 1)$ da saída total para n setores da economia X , dada a matriz $(n \times 1)$ do uso final (demanda).

As necessidade de água e geração de resíduos podem ser correlacionadas com o nível da atividade econômica. Tal relação é feita através do uso de um coeficiente de "uso de água" ou coeficiente de resíduo que numericamente dá o volume de água usada ou quantidade de resíduo gerado por unidade monetária volumétrica de saída de cada setor.

O uso de água ou geração de resíduos pode ser determinado pela matriz :

$$W = (I - A)^{-1} L$$

onde: W = matriz $(n \times n)$ de uso de água ou geração de resíduo

A equação 1 é a soma dos elementos alinhados no quadrante I e II e também

$$X_j = x_{1j} + \dots + x_{ij} + \dots + x_{nj} + V_j \quad j=1,2,\dots,n \quad - 2$$

$$X_j = x_i \quad i,j = 1,2 \dots n$$

Onde X_j = vendas totais do setor j

V_j = valor adicionado e compras de importação por setor j

A equação -2 é a soma dos elementos nas colunas dos quadrantes I e II.

A matriz de trabalho é denominada geralmente de tabela de transações.

As informações contidas na tabela de transações podem ser trabalhadas para construir a tabela de coeficientes técnicos, que é uma matriz e elementos a_{ij} onde

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j} \quad i, j = 1, 2 \dots n \quad -3$$

onde a_{ij} = coeficiente técnico

$X_j = X_i$ = output total da indústria j

Implicitamente a uma análise de input e output assumimos que os elementos da matriz de coeficientes técnicas são fixos e permanecem constantes com as mudanças na tecnologia de fabricação e economia.

Através da substituição a equação 1 fica

$$X_i = a_{i1} X_1 + \dots + a_{ij} X_j + \dots + a_{in} X_n + Y_i \quad i=1, 2 \dots n$$

$${}^T(I - A)^{-1} = \text{transposta de } (I - A)^{-1}$$

L = matriz $n \times n$ diagonal com os coeficientes de uso de água ou geração de resíduo aparecendo na diagonal e zeros nas outras posições.

De forma a prever necessidades futuras de água ou geração de resíduos a matriz W é multiplicada por um vetor da demanda final para cada setor.

$$X_W = W \cdot Y_F$$

Onde X_W = matriz $n \times 1$ das necessidades futuras de cada setor

Y_F = matriz $n \times 1$ da demanda final futura

O vetor da demanda final futura pode ser estimado com base no crescimento do produto regional bruto, que por sua vez é relacionado com o crescimento do produto nacional bruto.

4.1.7. ANÁLISE DE SÉRIES NO TEMPO (32)

Uma série de variáveis no tempo pode ser analisada como a soma de 3 variáveis:

- um componente de tendência
- um componente de frequência
- um componente aleatório.

Qualquer combinação das 3 variáveis acima pode ocorrer a qualquer instante. Um entendimento maior de uma série no tempo pode ser visualizada pela análise de cada componente separadamente.

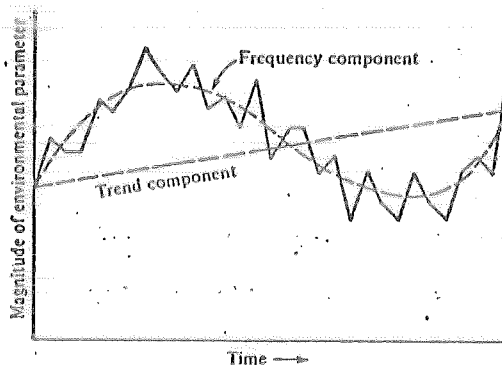


FIGURE 7.1.1
Time series demonstrating the components of parameter variability.

O componente de tendência, quando existe na série, torna-se evidente apenas quando os registros de dados são de longa duração.

A participação do componente tendência em uma série pode ser melhor representada por um polinômio do 2º grau (ou maior), todavia na maioria dos casos relativos aos problemas ambientais o fenômeno pode ser tratado como uma reta.

Para uma série consistindo de observações $x(t)$ feitas em espaços de tempo igualmente espaçados temos:

$$x_T(t) = a + b(t - \mu_t) \quad - 1$$

onde : $x_T(t)$ = estimativa de tendência

t = tempo expresso como um inteiro

μ_t = média da variável tempo

a, b = coeficientes

A media da variável de tempo pode ser expressa por:

$$\mu_t = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad - 2'$$

n = número de observações

t_i = tempo de cada observação

Os coeficientes a e b podem ser calculados pela expressão

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad - 3$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot x_i - n \mu_t \mu_x}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - n \mu_t^2} \quad - 4$$

Os coeficientes acima podem ser calculados por meio de técnicas computacionais.

O componente de frequência de uma série no tempo pode ser composto de um ou mais harmônicos que podem ser descritos pela representação de Fourier

$$x_F(t) = \sum_{i=1}^m (A_k \text{ sen } Kwt + B_k \text{ cos } kwt) \quad - 5$$

onde: $x_F(t)$ = estimativa do componente de frequência

A_k, B_k = coeficientes de Fourier

w = frequência angular, em radianos por unidade de tempo

k = inteiro

m = número total de harmônicos considerados.

A frequência angular está relacionada com a frequência em ciclos por unidade de tempo por

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{P} \quad - 6, \quad \text{onde}$$

P = período medido em unidade de tempo (1º harmônico)

f = frequência em ciclos por unidade de tempo.

Os coeficientes de Fourier podem ser estimados por

$$A_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sin k\omega t_i \quad - 7$$

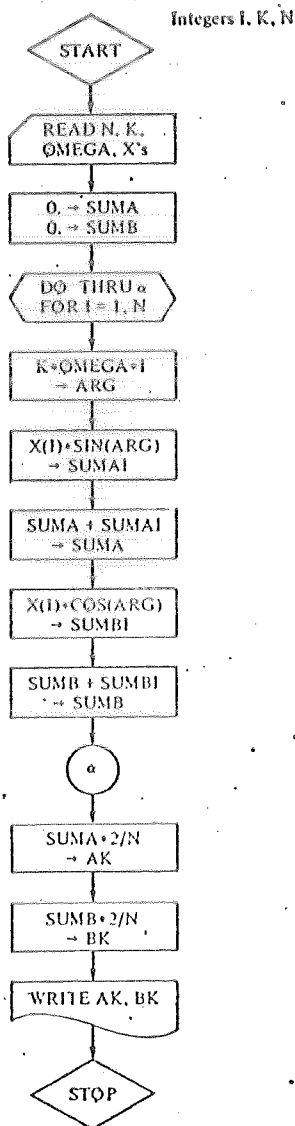
$$B_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cos k\omega t_i \quad - 8$$

Fourier coefficients
in Eqs. (7.1.7) and
(7.1.8) (AK and BK).

$$A_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sin k\omega t_i$$

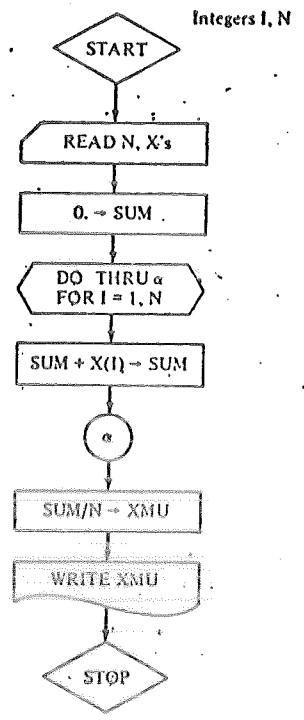
$$B_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cos k\omega t_i$$

where $n = N$
 $k = K$
 $\omega = \text{OMEGA}$
 $x = X$



Mean (XMU)

$$\mu = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

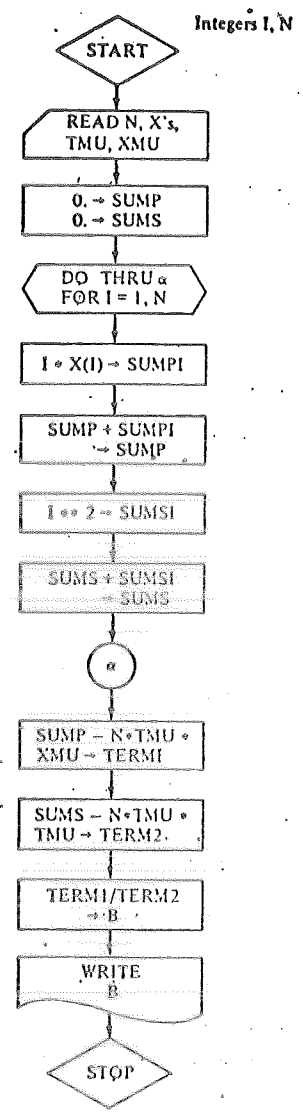


Coefficient b in Eq. (7.1.4).

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n t_i x_i - n \mu_t \mu_x}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - n \mu_t^2}$$

Initial computations:
 μ_t Algorithm 7.1.1
 μ_x Algorithm 7.1.1

where $n = N$
 $x = X$
 $\mu_t = TMU$
 $\mu_x = XMU$
 $b = B$



CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
 BIBLIOTECA

A equação - 5 pode ser modificada para

$$x_F(t) = \sum_{k=1}^n C_k \cos(k\omega t - \theta_k) \quad - 9$$

$C_k = (A_k^2 + B_k^2)^{1/2}$ = amplitude do Kesimo harmônico

$\theta_k = \arctan \frac{A_k}{B_k}$ = angulo de fase do Kesimo harmônico da equação - 5

O desvio em torno do valor médio é expresso pela variância

$$\sigma_k^2 = \frac{C_k^2}{2} \quad k < \frac{n}{2} \quad - 10$$

$$\sigma_k^2 = C_k^2 \quad k = \frac{n}{2} \quad - 11$$

O componente aleatório é um fator que não tem um determinado padrão de comportamento, todavia o seu comportamento é previsível apenas em propriedades estatísticas. O seu componente é representado por

$$x_R(t) = Z_n \sigma_R \quad - 12$$

σ_R = desvio padrão de um componente aleatório em uma série

Z_n = valor padronizado aleatório, normal e independente distribuído com média 0 e unidade variância

A variável aleatória introduz uma variação positiva ou negativa que excede em magnitude a frequência de um erro padrão em 32 por cento do tempo.

Uma série no tempo pode então ser representada por uma relação que combina os 3 componentes - tendência, frequência e aleatoriedade.

$$x(t) = x_T(t) + x_F(t) + x_R(t) \quad - 13$$

De maneira geral as séries no tempo de problemas ambientais se enquadram nas seguintes características.

- a) Séries compostas de alguma periodicidade, certo grau de aleatoriedade mais uma média com tendência.
- b) Séries que são em grande parte periódicas e podem incluir diversas frequências distintas
- c) Séries compostas de alguma periodicidade e algum grau de aleatoriedade.
- d) Séries que aparentam ser caracterizadas quase que inteiramente por variações aleatórias.



Deve ser enfatizado que a categorização de uma série no tempo é dependente não apenas do comprimento dos registros mas também da estatística dos parâmetros de interesse considerados.

4.1.8. MODELO URBANO DE POLUIÇÃO DO AR (47)

Consideremos uma cidade com uma superfície de controle tipo caixa.

A altura da caixa é a altura de mistura sobre a cidade e assumimos que os poluentes são emitidos da cidade e que o vento traz ar fresco para dentro da caixa forçando o ar poluído a sair pelo lado oposto ao da entrada de ar. Assumimos também que os poluentes se distribuem instantaneamente e uniformemente dentro da caixa.

V = volume da caixa

C = concentração do poluente (peso/volume)

P = taxa de emissão (peso/tempo)

Q = fluxo de ar (volume/tempo)

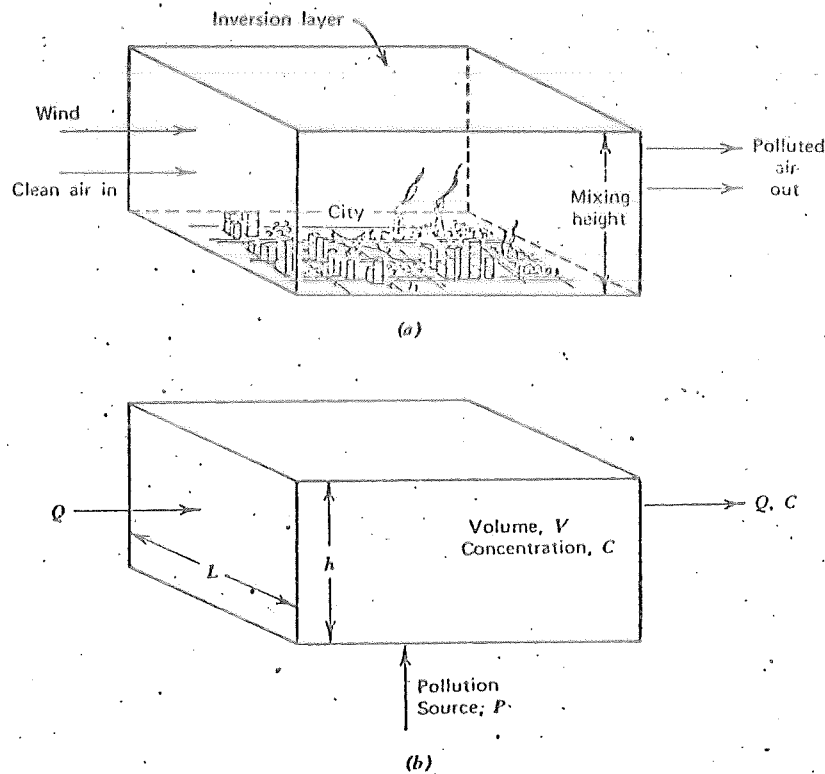


FIGURE 9.18 The box model for relating emissions to air quality.

O balanço material fica

$$V \frac{dc}{dt} = P - QC$$

condição de contorno:

$$t = 0 \rightarrow c = 0$$

A equação integrada fica

$$C = \frac{P}{Q} (1 - e^{-(Q/V)t})$$

O valor de Q pode ser calculado em função da velocidade do vento (v), dimensão da largura da caixa (L) e altura de mistura (h)

$$Q = vLh$$

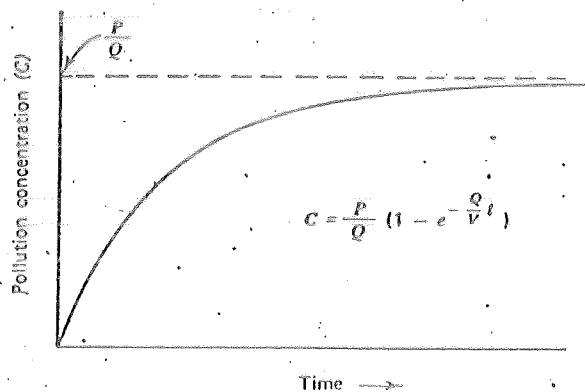


FIGURE 9.19. Increase in air pollution as predicted by the box model. The final value is proportional to emissions and inversely proportional to mixing height and wind speed.

BIBLIOGRAFIA

1. EHRLICH, PAUL R.

População, Recursos e Ambiente
EDUSP - 1974

2. RICH, LINVIL G.

Environmental Systems Engeneering
Clemson University - 1973

3. MASTERS, GILBERT M.

Introduction to Environmental Science and Tecnology
Stanford University - 1974

OUTRAS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GRISWOLD S. SMITH
 Technical Progress Report
 Control of Stationary Sources
 APCD - Los Angeles - 1960
2. MEADOWS, DONELLA H. E OUTROS
 Limites do Crescimento
 Massachusetts Institute of Technology - 1968
3. SCIENTIFIC AMERICAN - TEXTOS
 Tradução Prof. Luiz Roberto Tomazzi
 EDUSP - 1974
4. STRAUSS, WERNER
 Air Pollution Control - Vol II
5. THOMAS, WILLIAM A
 Indicators of Environmental Quality
 Oak Ridge National Laboratory - 1972
6. PETERSON, ERNEST W.
 Interaction of Population Growth, Industrial
 Growth and Pollution Control
 J.A.P.C.A. - Janeiro/1973
7. FUNDAÇÃO IBGE
 Censo Industrial S. Paulo - 1970
8. CHASS, ROBERT L.
 Profile of Air Pollution Control
 APCD - Los Angeles - 1971
9. SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO
 Diagnóstico SP - 1973

10. COLINVAUX, PAUL A.
Introduction to Ecology
11. ENVIRONMENTAL QUALITY ABSTRACTS
Vol II, nº 2 - 1975
12. RODRIGUES, EDUARDO CELESTINO
Problemas do Brasil Potência - 1973
13. WESLEY, BRITTIN
Air and Water Pollution
14. MUNN, R.E. e OUTROS
Workshop on Air Quality Criteria and Standards
S. Paulo - 1976
15. LETTAU, HEINZ H.; STERN, ARTHUR C.
Preceedings of Symposium on Multiple - Source
Urban Diffusion Models
16. KENNEDY, ALLEN S ET AL
Air Pollution - Land Use Planning Project Fase I
Final Report
ANL - ES-7 - NTIS
17. KENDRICK, DAVID
Mathematical Models for Regional Planning
Com - 73 - 11956 - NTIS

