



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

I SIMPOSIO LUSO-BRASILEIRO DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

POLÍTICAS E PROBLEMAS INSTITUCIONAIS NO
ÂMBITO DA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

DETECÇÃO DE PROBLEMAS, MÉTODOS DE SOLUÇÃO E TÓPICOS
DE INVESTIGAÇÃO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

1- Elaboração de um modelo baseado na teoria dos grafos

António S. Câmara, PhD em Engenharia Civil (Virginia Tech),
Professor Auxiliar, Departamento de Ciências e Engenharia do
Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal

Julia Seixas e Manuel Pinheiro, alunos finalistas, Departamento
de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de
Lisboa, Lisboa, Portugal

RESUMO

Propoe-se um modelo baseado na teoria dos grafos que se pretende venha a constituir um auxiliar útil na detecção de problemas ambientais prioritários, métodos de solução mais convenientes e, secundariamente, na definição de tópicos de investigação com marcado interesse. O modelo com uma configuração de rede inclui nós representando variáveis e arcos mostrando relações entre variáveis. A rede compoe-se de quatro redes interligadas: a) sub-rede 1- descrevendo o processo de geração de resíduos numa dada região; b) sub-rede 2- mostrando a evolução desses resíduos nos ecossistemas aquáticos, atmosféricos e terrestres da região; c) sub-rede 3- representando os impactos desses resíduos nos usos desses ecossistemas; e d) sub-rede 4- incluindo as estratégias de controle que se devem adoptar para afectar o processo de geração, evolução e impacto de um resíduo na região.

Utiliza-se este modelo para demonstrar a relevancia de vários problemas ambientais e referem-se aplicações potenciais na identificação de estratégias de controle mais adequadas. Finalmente, demonstra-se que um modelo deste tipo indica de uma forma sistemática tópicos de investigação. O método a seguir consiste na tentativa de representação das relações contidas em cada arco em termos funcionais. Desta tentativa resulta o conhecimento de todas as relações entre variáveis cuja representação matemática é ainda desconhecida ou incerta.

1. INTRODUÇÃO

A definição de soluções para os problemas ambientais de uma dada região têm enfermado de dois erros fundamentais: (1) o sistemático esquecimento das leis de conservação de massa e de energia; e (2) a utilização de metodologias baseadas essencialmente na formulação de modelos mentais dos problemas em jogo.

A aplicação das leis de conservação de energia e massa à análise da produção e modificação de resíduos líquidos, gasosos ou sólidos pode-se sintetizar na afirmação: a redução de um resíduo x conduz à produção de um resíduo y . São exemplos a redução do teor poluente de águas residuais numa estação de tratamento originando a produção de lamas ou ainda a redução de resíduos sólidos num incinerador libertando resíduos gasosos. A ignorância destes princípios tem levado à adopção de perspectivas sectoriais na solução dos problemas. Como consequência, e numa analogia com métodos de optimização têm-se obtido soluções óptimas "localmente" mas claramente sub-óptimas globalmente.

O processo de definição das soluções "locais" não tem sido sequer fiável. Na grande maioria dos casos, recorre-se sobretudo à formulação de modelos mentais dos problemas, que são limitados pela incapacidade do cérebro humano em lidar com fenómenos complexos.

Existe pois uma necessidade evidente de se abordarem os problemas ambientais de uma forma integrada e recorrendo a meios de análise mais rigorosos do que os modelos mentais usuais. Tais abordagens baseiam-se na formulação de modelos matemáticos que por modelarem os problemas ambientais de uma forma global têm sido denominados de modelos ambientais globais. Exemplos destes incluem os modelos de Isard (Isard, 1972), Russell-Spofford (Spofford, 1974) e Tamura-Ishida (Tamura e Ishida, 1984) não totalmente conseguidos sob o ponto de vista teórico e prático (ver por exemplo Kneese, 1977).

Neste trabalho, apresenta-se a base conceptual para um modelo ambiental global na forma de um modelo diagramático. Ilustra-se ainda o interesse deste na definição dos problemas ambientais, análise dos métodos de solução mais convenientes e secundariamente, na identificação de tópicos de investigação.

2. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Existem três tipos fundamentais de representações idealizadas da realidade: modelos mentais, aritméticos e geométricos. Os modelos mentais são formulados pelo cérebro humano para a solução de problemas. Têm importantes limitações decorrentes da incapacidade do cérebro em lidar com situações complexas (tem sido referido que um cérebro humano consegue lidar com um máximo de sete variáveis) e de não serem explícitos e portanto refutáveis. Os modelos aritméticos consideram os fenómenos passíveis de serem representados em termos de variáveis e relações entre variáveis expressas em termos numéricos. Os principais problemas destes modelos prendem-se com a dificuldade ou mesmo impossibilidade em se quantificarem determinadas variáveis e relações entre variáveis.

As abordagens geométricas preocupam-se fundamentalmente com a definição da estrutura dos fenómenos e constituem frequentemente a base conceptual para posteriores abordagens aritméticas. Os modelos geométricos não necessitam de quantificação mas apresentam vários inconvenientes em relação aos modelos aritméticos: não fornecem muitas vezes a mesma qualidade e/ou quantidade de informação; são estáticos; e são espacialmente agregados.

Na elaboração do modelo diagramático seguir-se-á obviamente uma abordagem

geométrica. Entendeu-se ser esta a mais util nesta fase do estudo por permitir um exame crítico e subsequente melhoramento das fundações de um modelo aritmético global que se pretende criar.

Uma versão agregada do modelo inclui-se na Figura 1. Trata-se de um grafo em que os nós representam variáveis e os arcos, relações entre variáveis. Na sua representação, afectaram-se os arcos de sinais positivos ou negativos para expressar a casualidade das relações. Para ilustrar a complexidade de um modelo deste tipo numa fase operacional, observe-se o numero de variáveis da versão já desagregada constante da Figura 2 e o numero de relações para um modelo sectorial do sistema aquático em que se consideram apenas duas actividades geradoras de residuos e dois usos de um rio (Figura 3).

O processo de identificação das variáveis que figuram nestas versões preliminares baseou-se em consultas da bibliografia e de peritos do sector, tendo portanto algo de subjectivo e não sistemático. O actual estado analítico da engenharia do ambiente não permite porem a adopção de métodos de identificação mais rigorosos. O processo de desenvolvimento do modelo concretizado numa sistematização e desagregação implicará uma adaptabilidade crescente à realidade que se traduzirá necessariamente num maior rigor mas a subjectividade permanecerá.

3. APLICAÇÕES POTENCIAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Nesta fase o modelo tem interesse conceptual, constituindo uma forma util de organizar informação. Existem, no entanto, outras aplicações para um modelo deste tipo. Tendo em conta por exemplo a Figura 3, representando um caso particular do modelo ambiental global que se pretende desenvolver, existem pelo menos dois tipos de manipulação de um modelo deste tipo: (1) afectando os arcos de sinais positivos ou negativos sempre que as variáveis variam no mesmo sentido ou em sentido oposto, determinar o sentido de influencia que quaisquer duas variáveis do modelo têm uma na outra; e (2) afectando os arcos de coeficientes de correlação objectiva, quasi-objectiva ou subjectivamente atribuidos e utilizando uma analogia com um circuito eléctrico (coeficientes de correlação = condutancias electricas), determinar a ordem de magnitude de influencia que uma dada variável tem em qualquer outra por aplicação das leis de Kirchoff.

O primeiro tipo de manipulação permite muitas vezes observar que relações entre duas variáveis não directamente ligadas são contra-intuitivas. O modelo apresentado na Figura 3 não constitui um exemplo perfeito por demasiado simplificado mas permite porem observar que o sinergismo existente entre as variáveis caracterizadoras do meio poderá conduzir a impactos de residuos lançados no rio não previsiveis devido a efeitos de magnificação ou atenuação.

O segundo tipo de manipulação permite determinar de uma forma já quantificada e quasi-objectiva quais são as variáveis dominantes no modelo e testar politicas de controlo. Neste caso, poder-se-ia com recurso a uma análise simples de objectivos multiplos baseada na "value path display approach" hierarquizar os problemas e métodos de solução (Cohon, 1978).

O principal interesse deste modelo reside contudo no facto de poder ser uma base para o desenvolvimento de um modelo aritmético. A implementação deste implica a necessidade de concretizar em termos matematicos as relações descritas nos arcos do modelo diagramático. Estas relações são no fundo modelos matematicos (modelos de geração de residuos, modelos de difusão de poluentes, modelos de impacte dos poluentes nos usos do meio receptor, modelos para a avaliação dos impactes em termos económicos). O primeiro interesse desta concretização

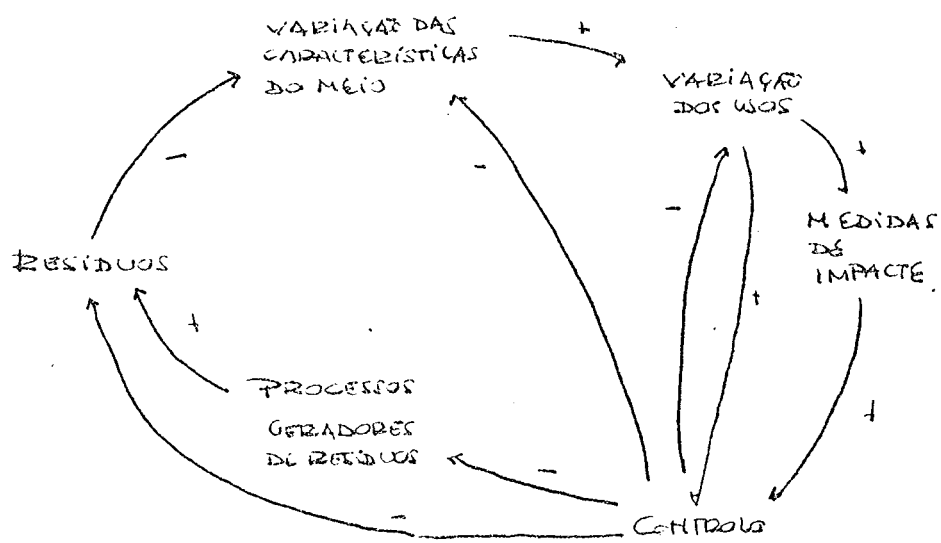


FIGURA 1. REPRESENTAÇÃO DIAGRAMÁTICA DO MODELO AMBIENTAL GLOBAL - ESTRUTURA GERAL

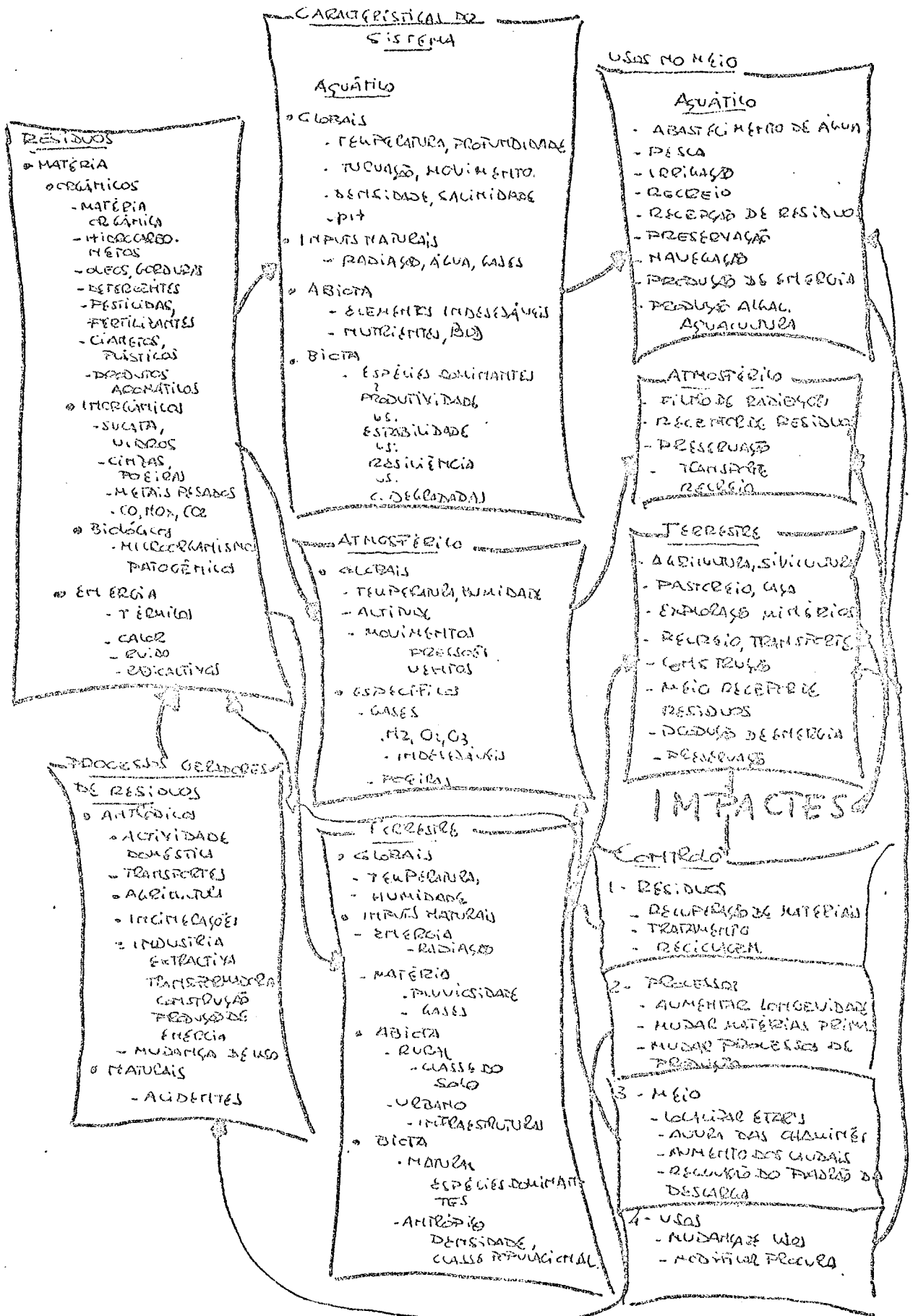


Figura 2. Modelo Ambiental Global.

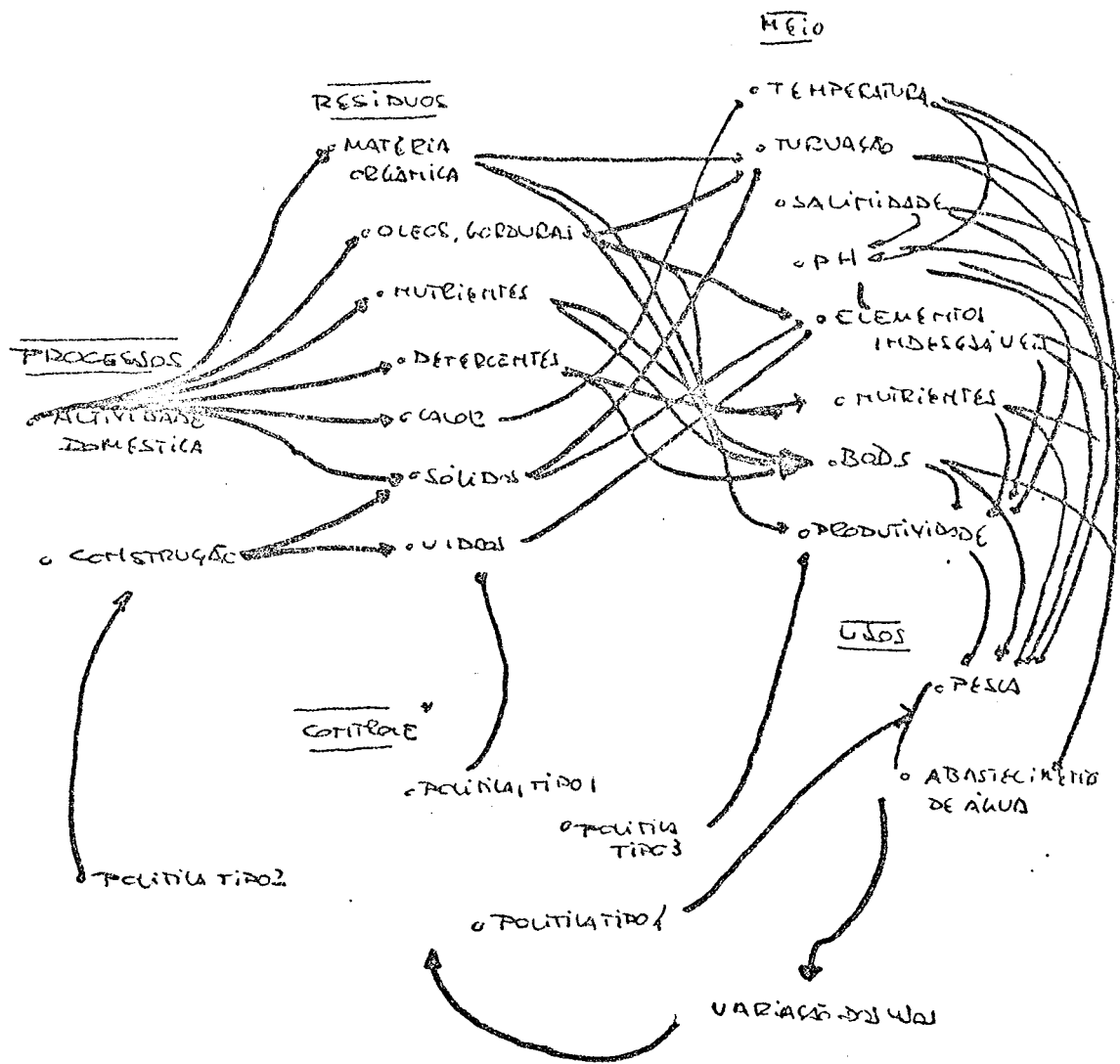


FIGURA 3 - MODELO SETORIAL - MEIO AQUÁTICO.

+ VER FIGURA 2

onsiste em determinar as relações para as quais não existem modelos matemáticos no actual estado da arte, detectando portanto tópicos de investigação.

A aplicação de um modelo ambiental global aritmético já convenientemente formulado tem como meta definir políticas de controlo a implementar para atingir determinados objectivos ambientais a um custo mínimo. Essas políticas de controlo (ver Figura 2) são caracterizadas pela sua magnitude, localização no espaço e no tempo e por serem de carácter provisional ou adaptativo. O numero quase infinito de possíveis estratégias (estratégia=conjunto de políticas) torna o problema da sua definição através da aplicação de algoritmos de optimização estática e de controle optimo altamente combinatorial.

Em relação ao futuro e para operacionalizar um modelo deste tipo torna-se pois necessário obter concretizações para as relações ainda não representadas matematicamente. Numa fase posterior, ter-se-ão de formular algoritmos que resolvam os problemas complexos de optimização estática e dinamica incluídos no modelo. Só após este trabalho será possível possuir uma ferramenta para definir estratégias de controlo dos residuos produzidos numa dada regioao de uma forma integrada e económica e ambientalmente pelo menos não inferior.

4. CONCLUSÕES

Uma das componentes fundamentais de uma politica de ambiente reside na hierarquização dos problemas ambientais e subsequentemente na avaliação dos métodos de solução alternativos para esses problemas. O processo de definição de problemas e suas soluções é porem feito ainda utilizando modelos mentais elaborados pelos decisores que dadas as limitações do cerebro humano raramente têm em consideração todos os inumeros factores em jogo.

Propõe-se neste trabalho um modelo baseado na teoria dos grafos que se pretende venha a constituir um auxiliar util na detecção de problemas ambientais prioritários, métodos de solução mais convenientes e secundariamente, na definição de tópicos de investigação. Evidenciam-se algumas aplicações do modelo na identificação de problemas e análise de políticas de controlo e refere-se que para de facto resolver problemas ambientais se torna necessário converter um modelo qualitativo deste tipo num modelo quantitativo. Desta tentativa resulta o conhecimento de todas as relações entre variáveis cuja representação matemática é ainda desconhecida ou incerta, detectando-se portanto tópicos de investigação. Discutem-se ainda problemas associados com uma futura implementação do modelo quantitativo e que se prendem com o numero quase ilimitado de estratégias de controlo que se torna necessário avaliar para definir uma estratégia optima ou pelo menos um conjunto de estratégias não inferiores, numa perspectiva ambiental e económica.

REFERENCIAS

1. Cohon, J., Multiobjective Programming and Planning, Academic Press, New York, N.Y., 1978.
2. Forrester, J., "Alternatives to Catastrophe-Understanding the Counter-Intuitive Behavior of Social Systems", Technology Review, 73, 3, 1971.
3. Işard, W. et al., Ecologic-Economic Analysis for Regional Development, Free Press, New York, N.Y., 1972.

4. Kneese, A., Economics and the Environment, Penguin Books, New York, N.Y., 1977.
5. Nijkamp, P., Environmental Policy Analysis, John Wiley, Chichester, G.B., 1980.
6. Petak, W., "Environmental Planning and Management: The Need for an Integrative Perspective", Environmental Management, 4, 4, 1980.
7. Spofford, W., "Total Environmental Management Models", in R. Deininger, ed., Models for Environmental Pollution Control, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan, 1974.
8. Tamura, H. e T. Ishida, "Environmental-Economic Models for Total Emission Control of Regional Environmental Pollution-Input-Output Approach", Fourth International Conference on State-of-the-Art in Ecological Modeling, Tsukuba, Japão, 1984.

