

# **ASPECTOS ECONÔMICOS E ECOLÓGICOS DA ANÁLISE AMBIENTAL URBANA**

**AMARO, João Júlio Vitral**

Arquiteto, Mestre em Economia e Doutor pela Technische Universität-Berlin  
Professor do Departamento de Urbanismo da Escola de Arquitetura da Universidade  
Federal de Minas Gerais  
Rua Paraíba, 697 - Belo Horizonte, M. G. CEP 30130-140  
E-mail vitral@arquitetura.ufmg.br

## **Resumo**

O texto trata do conceito de entropia em diferentes contextos e procura abordar questões propostas por alguns autores sobre a relação entre economia e ecologia. Para a física, entropia é a medida da disponibilidade da energia: a lei da entropia afirma então que toda energia de um sistema isolado passa de um estado ordenado para um desordenado. Na teoria da comunicação o conceito de entropia torna-se uma medida de complexidade. Georgescu-Roegen usou o conceito de entropia para construir a quarta lei da termodinâmica na qual ele amplia o conceito para a matéria. Deve ser enfatizado que com uma reversão do processo de entropia em um lugar, a entropia em todo o meio ambiente aumenta. A discussão é centrada na análise urbana, tomando como exemplo as consequências ecológicas da produção e do uso do automóvel.

## **Abstract**

The paper deals with the concept of entropy in different contexts and seeks to focus questions proposed by some authors about the relationships between economy and ecology. In physics entropy is a measure of the usability of energy: the entropy law is also a statement that all energy in a isolated system moves from an ordered to a disordered state. In communication theory entropy becomes a measure of complexity. Georgescu-Roegen has used the entropy concept to construct a fourth law of thermodynamics in which he extended the entropy concept to matter. It must be emphasized that whenever the entropy increase is reversed in one place, it is only done by increasing the overall entropy of the environment. The discussion is focused on urban analysis, taking as an example the ecological consequences of production and use of the automobile.

## **1. A questão ecológica para a economia**

Os livros-texto de economia urbana ao abordarem a lógica de ocupação das cidades pelas diversas atividades econômicas começam, invariavelmente, a partir dos custos de deslocamentos. A ‘teoria da empresa’, peça fundamental da microeconomia, contribui na consideração da economia urbana com o conceito de ‘economia de escala’. Quando os custos unitários de produção tendem a diminuir na medida em que a escala de produção cresce tem-se uma situação de ‘economia de escala’ ou de rendimentos crescentes

(Polèse;65). Os custos de transporte entram no cálculo relativo da ‘economia de escala’ como ‘distância percorrida’ ou ‘volume transportado’. Os custos unitários não aumentam proporcionalmente à distância percorrida; quer dizer, uma viagem de 100 quilômetros não custa o dobro de uma viagem de 50 quilômetros (Polèse;77). Do mesmo modo, o custo unitário de uma mercadoria qualquer pode se elevar se não se usa a plena capacidade de um meio de transporte. O custo adicional para se agregar mais um vagão a um trem de carga pode compensar ou, falando no jargão da economia, pode ser um ‘custo marginal’, se o resultado é uma diminuição do custo médio. (Polèse;78).

Para a economia corrente, cuja fonte teórica é encontrada nos economistas neoclássicos, os modelos formais pressupõem os bens naturais presentes a um dado instante e em quantidade ilimitada (Macchi;1994:3). Além disso, nela esta pressuposta a substituição entre bens produzidos pelo homem (capital) e bens naturais, ao mesmo tempo em que se confia à inovação tecnológica a capacidade de sempre oferecer uma resposta à escassez dos recursos naturais. Como consequência, essa teoria afirma a possibilidade de sempre se manter os atuais modelos de crescimento econômico, mesmo com recursos escassos, na condição de que esses possam ser substituídos pelo capital, seja pela inovação tecnológica (‘resource saving’), seja pela reciclagem completa dos recursos utilizados (Macchi;1994:3). Essa perfeita substituição de fatores pressuposta pelos neoclássicos revela, de acordo com Georgescu-Roegen (1977), uma concepção subjacente de ‘tempo reversível’, que, inerente à mecânica clássica, deverá ser contraposta à teoria da termodinâmica.

‘Termodinâmica’, de acordo com origem grega da palavra, significa movimento do calor e designa a teoria que se inicia no século XIX com o uso da energia a vapor. Para se calcular o maior rendimento do calor proporcionado pelo carvão, era necessário uma teoria para aquele mecanismo (Coveney;1993:130). Foi Sadi Carnot quem, pela primeira vez, estudou a ‘economia’ dos motores térmicos. A termodinâmica se inicia assim como “uma física do valor econômico” (Georgescu-Roegen;1989:63), fazendo coincidir a pesquisa da eficiência física com a pesquisa do rendimento econômico. Carnot faz uma análise sobre o funcionamento de uma máquina térmica ideal e sua idealização consistiu em considerar uma máquina perfeitamente reversível, ou seja, isenta de dissipação de calor, ou seja, isenta de perdas irreversíveis. Com isso, ele demonstrou como a eficiência se relacionava com a passagem do calor de um corpo quente para um corpo frio e, no caso de uma máquina a vapor, como o calor passava de uma câmara quente (onde o calor se formava) para uma câmara fria (onde se condensava). E sua conclusão aponta que a diferença entre duas câmaras é responsável pelo bom desempenho da máquina e, mesmo no caso de uma máquina idealizada, a eficiência, dada a dispersão da energia, jamais alcança 100% (Coveney;1993:130).

O segundo princípio da termodinâmica adquire uma extensão teórica e prática além do âmbito das máquinas a vapor ao introduzir um conceito de ‘qualidade’ de energia, uma medida da capacidade de um sistema de transformar o calor em energia mecânica (Hémery;1993:17). A segunda lei ficou definida quando Clausius distinguiu processos reversíveis de processos irreversíveis, introduzindo o conceito de ‘entropia’: uma grandeza que aumenta com a dissipação e atinge o seu valor máximo quando todo o potencial de executar trabalho está esgotado. De acordo com essa versão da segunda lei, num processo reversível a variação de entropia é nula, ao passo que nos processos irreversíveis a entropia sempre aumenta (Coveney;1993:130). A energia existe em dois estados qualitativos: a energia disponível e a energia não disponível. Essa distinção, que

é assumidamente antropomórfica, diz que a energia química contida em um pedaço de carvão, por exemplo, é energia disponível por que o homem pode transformá-la em calor e assim em trabalho mecânico. A imensa energia calorífica do mar é energia não disponível. A energia disponível implica uma estrutura ordenada. Com a dissipação da energia usada em qualquer sistema, tem-se que todo o conjunto de sistemas presente nos processos econômicos de uma dada sociedade tem por consequência um aumento generalizado da entropia, se apresentando, fundamentalmente, sob três formas diferentes: mistura de materiais ou desordem; radiação térmica ou diminuição da qualidade da energia e aumento do nível tóxico no ambiente. De acordo com Georgescu-Roegen, é a partir da teoria termodinâmica com sua idéia de ‘tempo irreversível’, e não a partir da economia fundada na representação da natureza feita pela mecânica clássica, que se deve investigar os processos econômicos. Para esse autor, é surpreendente que a teoria neoclássica tenha adotado o modelo mecanicista quando a mecânica clássica não tinha mais o domínio absoluto na física. A evidência dos modelos mecanicistas é a representação, comum nos livros-texto de economia, do processo econômico como um diagrama circular, um movimento pendular entre a produção e o consumo em um sistema fechado (Georgescu-Roegen;1977).

Sendo assim, as categorias da economia deverão ser confrontadas com as das ciências da natureza e particularmente da termodinâmica: pelo lado da economia, por exemplo, ‘escassez’, ‘rentabilidade’, ‘excedente’, deverão ser investigados também como ‘entropia’, ‘eficiência termodinâmica’, ‘irreversibilidade’, etc. Assumindo a afirmação de que “uma história econômica inspirada pela economia ortodoxa investiga as transações mercantis, enquanto a história econômica inspirada pela ecologia irá analisar os sistemas energéticos da humanidade” (Martinez-Alier;1991:32), coloca-se a necessidade de elaboração de outros conceitos que possam qualificar melhor conceitos já consagrados na teoria social (‘modo de produção’ e ‘formação social’, por exemplo). Pensando o conceito de ‘sistema energético’, onde se inclui tanto as características ecológicas e tecnológicas das linhas energéticas (evolução das fontes, dos conversores e de seus rendimentos) como as estruturas sociais de apropriação e de gestão destas fontes e destes conversores é possível reinterpretar a história das civilizações nas suas transformações da ‘base material’ e ‘contradições’ no plano das relações sociais (Hémery et al.;1993:21).

## **2. Transportes e entropia**

Transformações nas modalidades de transportes e destruição ecológica são duas faces do ‘desenvolvimento’ econômico. Desde os fenícios, que na antiguidade começam a arruinar grande parte das florestas vizinhas ao mediterrâneo para a construção naval, passando pelos mais recentes desmatamentos verificados na história moderna para as vias férreas, que processos de degradação ambiental se verificam e se acentuam (Weizsäcker;1992:82). Com transportes ficam associados, além de ‘progresso’, alto consumo energético e danos ecológicos. Mais de 25% dos recursos energéticos mundiais são destinados aos sistemas de transportes; ou seja, a mesma quantidade de energia gasta pela produção alimentar em todo mundo (Goldemberg;1998:109).

No entanto, analistas econômicos, jornalistas especializados e o público melhor informado, em geral, não tem mostrado grande preocupação com a quantidade de energia consumida em transportes e com o consequente esgotamento (que, segundo

estimativas, poderá colocar um grave problema a partir das próximas cinco décadas) das reservas petrolíferas. Isso porque, há uma crença difundida a partir da economia de que os “preços sinalizam a escassez”, contribuindo para a minimização do problema no futuro. A idéia de que a escassez iminente pode encarecer o petróleo, provocando a diminuição dos gastos ou a busca de outras fontes alternativas, não é muito convincente. O providencial aumento dos preços provocado pela escassez encontra lugar privilegiado nos modelos idealizados da economia mas nunca em uma situação de preços politicamente administrados. No caso do petróleo, dificilmente pode-se aceitar a crença de que os preços possam resultar de oferta e demanda de agentes econômicos livres, atomizados, concorrendo no mercado quando se sabe que os gastos militares para ‘proteção’ das reservas do Oriente Médio ficam em 50 bilhões de dólares por ano (Kay;1997:130).

Além dos graves problemas relacionados com sua principal fonte de energia, os transportes representam uma grande proporção nas emissões de gases. Os impactos mais nocivos são atribuídos aos gases que saem do cano de escape dos veículos e de emissões particuladas. De acordo com Goldemberg (1998:206), pode-se atribuir ao transporte: mais de 70% de todas as emissões de monóxido de carbono (CO); mais de 40% das emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>); quase 50% dos hidrocarbonetos totais (HCs); em torno de 80% de todas as emissões de benzeno e pelo menos 50% das emissões atmosféricas de chumbo. A maior parte dessas emissões têm origem nos automóveis e com eles tende a crescer, já que, o aumento anual da frota de veículos é de aproximadamente 10 milhões de automóveis e 5 milhões de caminhões e ônibus por todo mundo. Nos países industrializados o automóvel impõe-se como o transporte privilegiado, apesar do “rendimento medíocre dos motores” (Goldemberg;1998:106). Considerado no conjunto do consumo interno nos EUA, mais de 60% do petróleo, 50% da borracha, 67% do aço, 20% de toda produção eletrônica, do alumínio e tapetes e forros vão para o automóvel (Kay;1997:124). Aqui também está presente uma dimensão ambiental que diz respeito ao uso mundial dos recursos naturais e que obrigatoriamente deve ser considerada quando se relaciona o automóvel aos danos ecológicos: os EUA, que consomem aproximadamente 1/3 da produção anual de toda matéria prima disponível mundialmente, com outros 7 países maiores importadores de recursos naturais, consumiram juntos em 1988, segundo o Worldwatch Institut Report (1992), 2/3 da oferta mundial de alumínio, cobre e chumbo, 3/5 do zinco, do estanho e do aço e ainda a metade do minério de ferro. Esses dados, além de indicarem a magnitude de recursos naturais que poderão estar sendo dispendidos com o automóvel, mostram o limite físico, natural, da produção automobilística: o padrão de transporte e de mobilidade que os países mais industrializados adotam, apesar de ser o ideal de consumo (e de liberdade individual) em vários países, não é acessível ao resto do mundo (Amaro;1995:542). Numerosos cálculos demonstram a ineficiência energética relativa deste meio de transporte, levando-se a concluir que os países industrializados, e em particular os EUA, favoreceram o meio de transporte cujo rendimento termodinâmico é dos mais baixos (Hémery;1993:235).

### **3. Ordem e desordem ou a economia contra a ecologia**

O problema dos automóveis não se reduz à questão das emissões, do uso de recursos naturais ou do rendimentos dos motores. A abordagem ecológica a partir da termodinâmica indica como trabalhar com a idéia de ‘sistema’ e seus conceitos

correlatos, como 'ordem' e 'desordem'. Daí ser possível entender que a questão ecológica dos transportes vai muito além do problema com o gasto de combustíveis e com a emissão de gases e revela uma dimensão de ordem/desordem até então pouco utilizada para a consideração de toda uma sociedade a partir daquilo que se produz e para quê se produz. De acordo com Georgescu-Roegen, para quem os princípios da termodinâmica devem ser ampliados e aplicados na consideração econômica da transformação material, uma lâmina de cobre apresenta menor entropia que o mineral que o produziu (Georgescu-Roegen;1989:63). Para esse autor de textos econômicos, também conhecido como o pai da quarta lei da termodinâmica, a dissipação ou degradação da matéria/energia segue uma rota de irreversibilidade que é acelerada pela produção humana: uma folha de papel apresenta uma entropia mais baixa do que a massa de celulose, com a qual a sua produção se iniciou. Esse aumento de ordem (a baixa entropia da folha de papel) só foi possível porque em algum lugar a entropia (desordem) aumentou na forma de dispersão de energia dos trabalhadores e das máquinas e de dejetos líquidos, de gases na atmosfera.

Partindo de uma analogia com a termodinâmica foi desenvolvida por Claude Shannon a teoria da informação. Complexidade, ordem, organização e informação são os conceitos que se prestam à qualificação de um sistema. A complexidade de um sistema corresponde, conforme a teoria da informação, à informação potencial que esse sistema contém. Quanto mais informação potencial contida em um sistema, mais complexidade ele terá. A complexidade deverá ser apreendida em diversos níveis: um sistema complexo consiste de uma grande parte de elementos distintos que se relacionam entre si espacial e temporalmente. Quanto mais existe tal estruturação entre elementos e quanto maior o número de elementos, mais informação é necessária para identificar toda estrutura em seus componentes independentes e, do mesmo modo, maior a informação que se obtém de tal estrutura. A idéia de ordem, em contraposição à de complexidade, não se relaciona à estados potenciais, mas à situação existente no tempo e espaço: um sistema será mais ordenado quanto mais se puder atribuir a ele uma regularidade espacial (como, por exemplo, um cristal) ou temporal (como oscilações periódicas). Ordem relaciona-se, portanto, à redução dos estados potenciais de um sistema. A ordem máxima é então obtida quando a informação atual existente - e não a potencial! - se torna máxima; ou, falando a mesma coisa de outro modo, quando a entropia do sistema se torna mínima. Graus de ordem podem se expressar como graus de liberdade de um sistema: um sistema complexo possui numerosos níveis de liberdade que, através da ordem, são reduzidos (Binswanger;168).

Em analogia com o conceito de 'sistema energético', conforme se mostrou acima, é possível se pensar uma sociedade específica qualificando-a segundo suas linhas energéticas (evolução das fontes, dos conversores e de seus rendimentos) com as correspondentes estruturas sociais de apropriação e de gestão das fontes energéticas e de conversores. A partir de considerações sobre aquilo que se produz, como se produz, para quem se produz e quem paga por essa produção, a crítica ambientalista deve indagar mais rigorosamente sobre aspectos da realidade econômica e social e tentar responder sobre aspectos de determinada produção (no caso deste texto, sobre a produção dos automóveis) segundo os critérios normativos mais amplamente aceitos e em grande parte assumidos em decisões internacionais, como por exemplo: é economicamente eficiente?; ecologicamente suportado?; politicamente democrático? ou socialmente justo?

#### **4. Automóveis - eficiência econômica e desgaste ecológico**

A indústria automobilística dos Estados Unidos, como demonstram estudos recentes (Kay;1997:124), desempenha um papel fundamental em termos macroeconômicos: seis das dez maiores corporações americanas são de petróleo ou automóvel. De acordo com o American Automobile Manufacturers, um quinto do produto interno (PIB) nos EUA é dependente da produção de automóveis, sendo que um em cada seis trabalhadores americanos tem seu trabalho ligado de certa forma à indústria de automóveis ou às relacionadas a ela, como gasolina, estradas, vendas, consertos, etc.

Embora a constituição dessa ‘ordem’ esteja também mobilizando tantos recursos do planeta, como foi mostrado acima, uma comparação de dados sobre locomoção na antiga União Soviética e nos EUA coloca em evidência o fato de que no final da década de 80, o tempo que se levava nos EUA para ir de casa ao trabalho era aproximadamente o mesmo que se levava na União Soviética, sendo que nesse país a quase totalidade da população andava a pé ou usava o transporte público (Lowe;1994:115). A economia de tempo, que aparentemente é possibilitada pela velocidade dos automóveis, é, na verdade, dificultada pelos congestionamentos nas maiores cidades do mundo. De acordo com Lowe (1994:115), nas maiores áreas urbanas dos EUA, as pessoas perdem de um a dois bilhões de horas anuais presas no trânsito. De acordo com o Federal Highway Administration nos EUA, os custos de 8 bilhões de horas paradas no trânsito beiram os 43 bilhões de dólares, ou 168 bilhões em perda de produtividade segundo outras estimativas. De acordo com o Chicago’s Metropolitan Planning Council, 2 bilhões por ano desse total vêm de Chicago apenas (Kay;1997:122). De um lado, conforme a terminologia desenvolvida acima, ‘ordem’, ‘baixa entropia’, e de outro, dissipação, ‘desordem’.

Para se pensar agora na dimensão social do ‘sistema-automóvel’ deve-se observar os cálculos que distinguem os custos externos (aqueles que são pagos por outras pessoas ou sociedades inteiras) dos custos internos (aqueles que o proprietário paga e são assumidos no orçamento privado). A injustiça social presente nessa modalidade de transporte relaciona-se aqui ao fato de que os custos relativos ao uso do automóvel atingem mais pessoas que o universo de seus possuidores, envolvendo até mesmo aqueles que nunca terão condições de possuir um automóvel. Nos EUA, por exemplo, os impostos sobre a gasolina, pedágios e outros encargos de uso cobrem normalmente menos que dois terços da construção e manutenção das rodovias; o restante desses custos sai em geral de outras fontes que não tem a ver com possuidores de automóveis (Lowe;1994:128). Dentre as despesas adicionais não cobertas pelos proprietários de veículos estão incluídas as patrulhas rodoviárias, o controle do tráfego e serviços de polícia e de incêndio e ainda o custo dos estacionamento ‘gratuitos’ (Lowe;1994:128) que, obviamente, são pagos por todos que pagam impostos. Segundo estimativas apresentadas por Jane Kay (Kay;1997:120) o custo médio para um possuidor de automóvel nos EUA é de US\$ 6.000 (custo para se ter um carro de em média dois anos de idade, com combustível, estacionamento, depreciação, manutenção, seguro, taxas, etc.) e de US\$ 3.000 a US\$ 5.000 como custos externos, pagos por terceiros.

Todos esses custos, privados ou socializados, são os chamados custos monetários, aqueles de relativa transparência e facilmente quantificados, já que devem aparecer nos orçamentos privados ou públicos. Mas muito mais difíceis de serem quantificados são os

custos não monetários que os proprietários de automóveis impõem à toda sociedade como resultado de congestionamentos, acidentes de trânsito, poluição da água e do ar, dependência da importação do petróleo, produção de resíduos sólidos, perdas de áreas agrícolas e de habitat naturais e alterações climáticas.

Tentativas de dar expressão monetária a esses custos que ninguém vê buscam os custos monetários indiretos como, por exemplo, os impactos da poluição do ar nos custos das doenças através dos custos de prevenção, tratamento e o impacto monetário sobre o sistema previdenciário (Wicke;1991). A American Lung Association, por exemplo, computa os efeitos da poluição do ar na saúde na ordem de 50 bilhões anualmente e o National Safety Council calcula 176,5 bilhões devidos aos acidentes com autos (Kay;1997:124).

A finalidade desse texto foi mostrar como a abordagem ambientalista do fenômeno urbano pode descobrir novos ângulos de análise ao se refletir sobre o confronto entre economia e termodinâmica. Aqui foi discutida a produção e uso do automóvel tomando um exemplo extremo, os EUA, de como a consideração ambientalista (ampla o suficiente para acolher também a dimensão social) obriga a rever os critérios de eficiência econômica. Do mesmo modo, outros 'sistemas' urbanos podem ser analisados como, por exemplo, a produção e o abastecimento alimentar para as cidades (qual o gasto energético relacionado com a quantidade de calorias obtidas em alimentos, na medida em que as cidades passam a diversificar sua pauta alimentar, dependendo da produção agrícola cada vez mais distante?) ou a ocupação com altas densidades comparada com a expansão horizontal das cidades relacionadas com o desempenho termodinâmico (no sentido aqui exposto, envolvendo as noções de 'ordem' e 'desordem' de um sistema) tanto das linhas de infraestrutura (água, esgoto, telefonia, etc., em maior extensão para a expansão predominantemente horizontal) como dos sistemas de circulação vertical, da concentração de pessoas, do maior volumes de emissões em menor área, próprios da ocupação verticalizada.

## 5. Bibliografia

AMARO, J. J. V. & REIS, A .V. As Dimensões Econômicas e Ecológicas da Exploração dos Recursos Naturais. In: **Anais do Seminário sobre Economia Mineira**, Belo Horizonte, 1995.p. 535-557.

BINSWANGER, M. Das Entropiegesetz als Grundlage einer ökologischen Ökonomie. In: **Zwischen Entropie und Selbstorganisation**, Beckenbach, F. & Diefenbacher, H. (org.) Marburg, 1994.

COVENEY, P.; HIGHFIELD, R. **A Flecha do Tempo**. São Paulo, 1993.

GEORGESCU-ROEGEN, N. The Steady State and Ecological Salvation - A Thermodynamic Analysis. In: **BioScience**. Arlington, 1977

GEORGESCU-ROEGEN, N. La Ley de la Entropia y el Problema Economico. in: Daly (org.) **Economia, Ecologia, Ética**. México, 1998.

GOLDEMBERG, J. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo, 1998.

HÉMERY, D. ;DEBIER, J. ;DELÉAGE, J; **Uma História da Energia**. Brasília, 1993.

KAY, J. H. **Asphalt Nation: how the automobile took over America and how we can take it back**. New York, 1997.

LOWE, M.. Reinventando o Transporte. in: Lester Brown (org.) **Qualidade de Vida** - Worldwatch Institute. São Paulo, 1994.

MACCHI, S. ; SCANDURRA, E. **Valutare la Sostenibilità** - Tre Paradigmi. Research Report 9; Dipartimento di Architettura Tecnica e Tecnica Urbanistica; Roma, 1994.

MARTINEZ-ALIER, J. ; SCHLÜPMANN, K. **La Economía y la Ecología**. Mexico, 1991.

POLÈSE, M. **Economía Urbana y Regional**. Costa Rica, 1998.

WEIZSÄCKER, E. **Erdpolitik**. Darmstadt, 1992.

WICKE, L. **Umweltökonomie**. München, 1991.