

A ENTROPIA E UMA NOVA RESPONSABILIDADE

Antônio C. G. de Sousa

Universidade Federal do Rio de Janeiro – ac@del.ufrj.br

Resumo

Este texto faz uma análise crítica dos modelos dos processos de produção que não levam em consideração a Entropia. Propõe um novo modelo para este processo introduzindo a Entropia, e discute as características do novo modelo, considerando o processo produtivo como um sistema aberto, fora do equilíbrio, complexo, com qualidades que são encontradas apenas no todo e não nas partes. A partir do novo modelo são discutidas as novas responsabilidades para com o futuro.

Palavras-chave: Entropia; Desenvolvimento sustentável; Modelo econômico; Sistema aberto; Sistema complexo.

1 Introdução

No caminho para estabelecer a Economia como uma ciência, seu escopo foi definido como o estudo da produção de bens para a humanidade. Neste processo algumas questões centrais foram colocadas, como quais são os fatores envolvidos no processo de produção e consumo, como é produzida a riqueza, como se dá o crescimento econômico, como se estabelece o valor dos produtos. As respostas a estas questões foram definindo o sistema econômico, ou processo produtivo, permitindo a elaboração de modelos para esse sistema. Neste texto analisamos o modelo clássico da economia e sua evolução até o sistema chamado de sintético neoclássico, criticando a não consideração da entropia no sistema econômico, o que leva a ignorar completamente a natureza no processo de produção. A partir desta crítica apresentamos um novo modelo incluindo a relação do sistema econômico com a natureza, e discutimos as consequências deste novo modelo, que exige um comprometimento com o futuro das novas gerações.

Na seção 2 apresentamos o modelo clássico da economia, e na 3 um novo modelo de acordo com o segundo princípio da termodinâmica. Na seção 4 discutimos as principais controvérsias sobre os modelos. Na seção 5 apresentamos os problemas da poluição e da crise da energia sob o ponto de vista dos dois modelos, e na 6 a responsabilidade para com o futuro colocado claramente pelo novo modelo. Finalmente na seção 7 apresentamos as conclusões do

texto. É importante salientar que a grande contribuição à crítica da teoria clássica da Economia foi apresentada por Nicholas Georgescu-Roegen (1971) e, portanto, seus trabalhos embasam este texto, assim como os textos de Cechin (2010) e Carpintero (2006). Na parte histórica foi de valia o livro de Mankiw (2001), que apesar de seguir o modelo clássico, faz uma excelente recopilação histórica da evolução da Economia.

2 O Modelo Clássico do Processo Produtivo

O modelo clássico do sistema produtivo foi definido como um sistema isolado, com fluxos de valores monetários e bens, como está representado na figura 1.

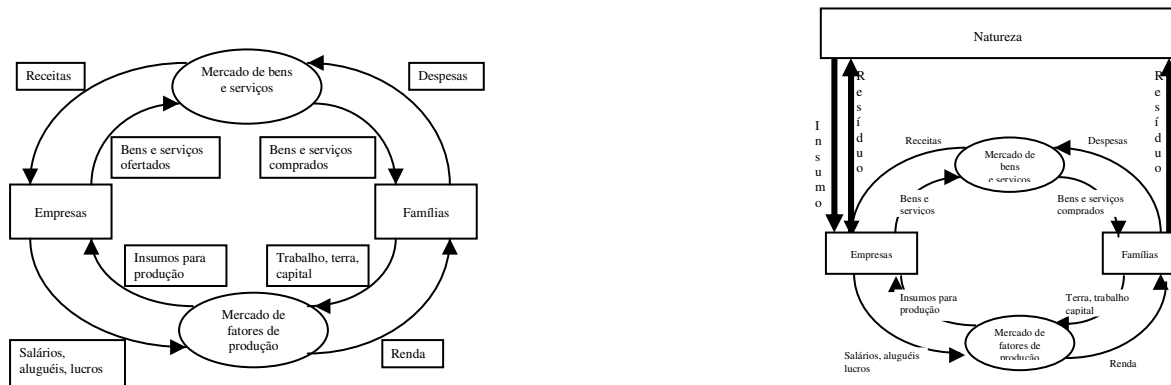


Figura 1 – Diagrama do processo de produção, baseado em Gregory (2001).

Figura 2 - Diagrama com o processo de produção como um sistema aberto

Para se chegar a este modelo foram considerados como insumos para a produção, ou fatores de produção, o trabalho, a terra e o capital. Com estes insumos as empresas produziam bens que eram oferecidos no mercado de bens e serviços. As famílias consumiam estes bens e serviços, e por sua vez ofereciam no mercado de fatores de produção trabalho, terra e capital. Assim se formava o fluxo interno de bens e serviços do modelo, e externamente havia outro fluxo, em sentido contrário, de valores monetários.

Em 1776 Adam Smith, em “A riqueza das nações”, propôs que a riqueza era criada pelo trabalho, substituindo as visões anteriores da riqueza criada pelo comércio e depois pela agricultura. O aumento de capital foi atribuído à acumulação de capital pelo lucro, e o aumento da produção pelo aumento da produtividade do trabalho.

Nesta época já estava colocado o problema do crescimento. Para Adam Smith a oferta fixa de terra limitaria o crescimento da população. Para David Ricardo e Thomas R. Malthus os

retornos da produção agrícola seriam decrescentes em longo prazo, e se a população crescesse cairia o padrão de vida, o que levaria a uma estabilização da população.

John Stuart Mill considerava que o progresso técnico permitiria satisfazer as necessidades materiais da humanidade, e a sociedade estaria livre para perseguir outras metas sociais e atingir um padrão elevado de vida.

Marx (1971) considerava que a técnica poderia resolver os limites naturais; as necessidades básicas de todos poderiam ser atendidas. A transformação do sistema se daria em função de conflitos internos, pois a socialização da produção entraria em choque com a apropriação privada dos meios e resultados da produção: contradição das forças de produção com as relações de produção.

Marx (1971) apresentou um esquema de reprodução simples, em que os bens eram divididos em bens de capital e bens de consumo, e o fluxo de produção deveria ser suficiente para manter constantes os estoques de capital e trabalho usados na produção.

A revolução marginalista entre 1870 e 1880 utilizou técnicas matemáticas para analisar as economias, e mudou o foco de interesse para o fenômeno das trocas, abandonando o estudo da produção e seu crescimento. Passou a ser estudado como eram fixados os preços e como os bens eram trocados entre os indivíduos: o sistema estaria em equilíbrio quando as pessoas não quisessem mais trocar, o que se daria quando todos estivessem satisfeitos dados os preços e os bens disponíveis. Esta linha de trabalho levou à discussão do autointeresse, que levaria os indivíduos a maximizarem a utilidade dos bens, para atender à satisfação pessoal proporcionada pelo consumo. O problema então passou a ser encontrar a maximização da utilidade, dos bens e serviços, tendo em vista a limitação de recursos.

Para os clássicos os valores eram determinados pela produção, e na visão dos marginalistas os preços eram fixados pela procura. Alfred Marshall juntou a resposta dos clássicos com a dos marginalistas, propondo que o preço era determinado quando a oferta encontra a demanda. Esta microeconomia do estudo dos comportamentos dos consumidores e dos produtores passou a ser conhecida como neoclássica.

Em nova evolução o núcleo teórico passou a ser a teoria da escolha, a alocação de recursos escassos entre fins alternativos. A busca de uma função matemática para maximizar sob restrições passou a ser o problema central da economia. Com a crise de 1929 John Maynard Keynes apresentou uma explicação para as flutuações da economia e um programa de políticas monetárias e fiscais a serem seguidas pelos governos para evitar as crises cíclicas. Era o retorno a uma visão macroeconômica com o objetivo de manter o crescimento econômico.

Paul Samuelson (1976) foi quem tratou de combinar a economia neoclássica com Keynes, gerando o que passou a ser chamado de síntese neoclássica. Faltava ainda conciliar o crescimento com o equilíbrio, e isto foi proposto por Solow (1956), ao considerar que os fatores capital e trabalho são intercambiáveis: avanços tecnológicos proporcionam maior produtividade do capital, aumentando a taxa de crescimento econômico e a renda per capita.

3 Novo Modelo para o Sistema Econômico

Até aqui todas estas teorias utilizavam o modelo apresentado acima, de fluxos contínuos de valores monetários e bens, os dois em sentidos inversos. Seguem o modelo mecanicista da física no século XVIII. Esse modelo recebeu uma crítica contundente de Georgescu (1971), onde ele demonstrava que o modelo contrariava a segunda lei da termodinâmica, a entropia, pois criava um moto perpétuo irreal. Não se podem realizar transformações na natureza sem perda de energia na forma de calor que se dissipa. Este princípio da termodinâmica introduziu uma novidade epistemológica: a flecha do tempo. Na natureza não há ciclo contínuo, e o tempo termodinâmico não é o tempo mecânico. Na mecânica o tempo pode ser negativo, os fenômenos podem ser reversíveis. Na termodinâmica os fenômenos são irreversíveis. Logo há uma história, o tempo tem orientação. Portanto um sistema isolado, pela entropia, entraria em degradação energética, chegando a um ponto em que a energia existente não poderia mais produzir trabalho. Falta neste modelo uma entrada de energia para que ele possa funcionar. O processo de produção realiza transformações sobre materiais da natureza, originando bens e serviços. No modelo clássico não é apresentada a entrada de materiais da natureza, nem é mostrada a saída de resíduos do processo de produção para a natureza, pois mesmo que exista a reciclagem, ela não é completa, há perda de materiais na forma de rejeitos. O processo produtivo extrai da natureza materiais com baixa entropia, e devolve materiais degradados, com alta entropia.

Cabe aqui uma explicação. A entropia é também uma medida da degradação da energia em sistemas. A cada transformação há uma perda de energia na forma de calor, ocasionando o aumento da entropia. Quanto maior a entropia, menos possibilidade um sistema tem de utilizar sua energia para produzir trabalho, daí dizer-se que houve uma degradação da energia. Baixa entropia significa alta capacidade de uma energia de produzir trabalho. A energia elétrica é uma forma de energia de baixa entropia, e o calor é a forma de energia de mais alta entropia. Para exemplificar, quando um motor elétrico gera movimento,

ele tem alta eficiência, e uma pequena parte da energia gasta no motor se dissipa na forma de calor, não produzindo trabalho útil. As máquinas térmicas tem baixa eficiência, portanto perdem muita energia sem produzir trabalho. Retornando então à crítica ao modelo clássico do processo de produção, pode-se concluir que faltam mais dois fluxos de matéria entre o sistema e o ambiente externo, a natureza. Um fluxo da natureza para o sistema representando os materiais da natureza que o processo de produção utiliza como insumos, e um fluxo do sistema para a natureza com os rejeitos do processo de produção.

Os sistemas são classificados em isolados, fechados e abertos. Nos sistemas isolados não há troca de energia e matéria com o ambiente externo. Nos sistemas fechados pode haver troca de energia com o ambiente externo, mas não há troca de matéria. Nos sistemas abertos há troca de energia e matéria com o ambiente externo. A terra é um sistema fechado, pois troca energia com o ambiente externo. Recebe energia do sol e emite energia. O sistema de produção é aberto, pois troca energia e matéria com a natureza, que é seu ambiente.

Podemos agora apresentar um novo modelo, considerando as interações do processo de produção com a natureza.

Este novo diagrama representa os fluxos de matéria e energia entre a natureza e o sistema de produção, agora um sistema aberto. O sistema produtivo recebe insumos de baixa entropia, e devolve para a natureza rejeitos de alta entropia, aumentando a entropia da terra. No modelo clássico os insumos para a produção representam o fluxo de todos os elementos necessários à produção. Georgescu (1971) dividiu este fluxo em dois elementos: um “fluxo” dos insumos que são consumidos na produção, por exemplo, madeira, chapas de aço, tintas; e um “fundo” dos insumos que se mantém, como trabalho, capital, terra. Esta distinção é importante, pois ao se discutir a possibilidade de substituir um insumo por outro, deve-se levar em consideração que fluxos e fundos são de natureza distinta.

4 Controvérsias

O novo modelo deixa mais claro os problemas que o atual sistema de produção está criando para o futuro: a depleção dos recursos naturais utilizados como fontes de energia ou de insumos materiais para a produção, e o aumento dos rejeitos de alta entropia. Apesar de já existir uma consciência generalizada de que esses problemas são reais, há dificuldades para tratá-los porque há resistências e teóricos e técnicos que procuram minimizar as consequências desses problemas.

Alguns economistas (SOLOW, 1956) alegam que a depleção de um material fará com que ele seja substituído nos processos produtivos por outros produtos, mantendo-se o nível de produção e de consumo. Como nos modelos econômicos todos os fatores de produção são medidos em valores monetários, sob o ponto de vista econômico realmente um material esgotado poderia ser substituído por outro, e mais, poderia haver substituição também entre capital e trabalho. Mas no mundo real nem todos os insumos podem ser trocados entre si, e uma propriedade que se exige de todo modelo é que ele tenha relação com os elementos do mundo real (GEORGESCU, 1971). Além disso, uma mudança quantitativa no uso de um capital levará a uma mudança qualitativa deste capital, e a produção não se manterá constante. Discute-se na engenharia a inovação como a saída para a depleção dos recursos naturais. Mowery (2005) apresenta um caso em que isto foi possível. Na segunda guerra os Estados Unidos ficaram isoladas das suas fontes de borracha natural, e para a sociedade americana e seu esforço de guerra a borracha era indispensável. O governo fez um enorme aporte de financiamentos menor, apenas, que os realizados no Projeto Manhattan, na época, e em dois anos a borracha sintética, que já existia, porém com problemas para sua produção e uso, estava em uso industrial. A questão que se coloca é que foi substituído um produto baseado em material renovável, a borracha, por outro baseado em material não renovável. Esta mudança aumenta o consumo dos derivados do petróleo, resolvendo momentaneamente o problema. Pode-se voltar novamente à borracha natural, mas este caso não pode então ser apresentado como um exemplo da substituição de material da natureza substituído por outro obtido por inovação, pois a substituição é transitória.

A inovação tem um papel importante na história da humanidade, mas não como ela é apresentada hoje. O modelo clássico da economia é baseado na mecânica, pois o movimento de materiais ou valores monetários se dá em ciclos eternos. Na mecânica o tempo pode ter valores negativos, pode-se retornar no tempo. Ao ser introduzida a entropia passou-se para um modelo termodinâmico com uma “flecha do tempo” onde não há ciclos sem aumento da entropia. Cechin (2010) ao apresentar as correntes atuais na economia, relata o crescimento da utilização do darwinismo na economia, baseado nos princípios de variação, herança e seleção.

Da mesma forma que o sistema biológico, o sistema produtivo humano seria um sistema aberto, complexo e evolutivo. A variação, que na biologia é motivada por mutações genéticas, na economia é motivada pela inovação humana. Portanto a inovação é uma característica fundamental nos seres humanos e está na base da evolução da sociedade humana. É contraditório que a inovação, elemento central para a história humana, seja utilizada por alguns para justificar posições que são contraditórias com a evolução.

5 Poluição e crise energética

No novo ciclo econômico foi incluído um fluxo do sistema produtivo para a natureza, que significa os rejeitos do processo de produção e o aumento da entropia na terra. Este fluxo coloca dois novos problemas: a poluição e a depleção dos recursos energéticos não renováveis. A poluição está sendo combatida com a reciclagem dos materiais e mudanças nos processos de produção para materiais recicláveis e não poluentes. São medidas importantes, mas não eliminam completamente os resíduos. A entropia representa a degradação da energia pela transformação de energias com baixa entropia em energias com altas entropias, com dispersão de energia na forma de calor. No caso dos rejeitos nem todos são possíveis de serem recuperados pela dispersão dos mesmos. Nunca se obtém 100% de reciclagem de materiais. Portanto a reciclagem diminui, mas não elimina, a perda de materiais.

Sobre a energia já foi colocada a degradação da energia. Há pesquisas em energias renováveis que tentam resolver este problema, mas até hoje não apresentaram uma solução completa, ou ainda mantém efeitos laterais nocivos sobre a natureza.

A energia hidráulica é renovável, mas as grandes barragens têm fortes impactos ambientais que tem levado a uma luta contra as novas hidroelétricas, como é o caso de Belo Monte no Xingu. Pode ser que no futuro essas obras sejam realizadas com menos impactos ambientais, a partir da valorização do meio ambiente, mas ainda não chegamos nesta etapa em nenhum país, nem sabemos se chegaremos a esta valorização na sociedade atual.

A energia atômica apresenta riscos ambientais consideráveis, o que aliado com a falta de confiança nos empreendimentos nucleares pela minimização de custos que levam aos limites de segurança legais, permite concluir que não é uma opção viável no curto nem no médio prazo. Outras formas renováveis de energia, como fotovoltaica, eólica, aquecimento solar, das ondas, geotérmica e outras que apareçam, ainda não são suficientemente eficientes ou constantes para resolver o problema energético sem criar outros problemas para o meio ambiente e o aumento da entropia na terra.

6 A responsabilidade para com o futuro

Do que foi colocado acima surgem algumas responsabilidades para os técnicos e para todos. A primeira é a colocação das bases científicas para os problemas. Por exemplo, nos trabalhos sobre reciclagem deve-se colocar a importância da reciclagem, mas também discutir

politicamente o problema, mostrando que apenas reciclando “estaremos enxugando gelo”. Ao lado da reciclagem devemos discutir os processos de produção para que diminuam os rejeitos, e que os mesmos possam ser recicláveis. Como estas medidas só serão aceitas pelas empresas capitalistas por coerção legal por aumentarem os custos dos processos de produção, a atividade de reciclagem deverá gerar políticas públicas para a reciclagem em todos os seus aspectos, e para o controle sobre as empresas.

As pesquisas sobre fontes renováveis de energia são fundamentais e deve haver uma pressão para a alocação de recursos em pesquisas nesta área. Portanto nas atividades de pesquisa devem-se analisar também os recursos alocados à área e propor políticas públicas que imponham mais recursos para a pesquisa em fontes renováveis de energia.

7 Conclusão

Discutimos o modelo atual do processo econômico, e a partir desta discussão colocamos vários aspectos e políticas a serem seguidas, mas fica uma pergunta: por que a dificuldade em fazer políticas visando o futuro da humanidade? A resposta a esta pergunta deve ser buscada nas teorias e na sociedade atuais.

Uma das características da economia clássica, ou da neoclássica também, é seu reducionismo que leva a considerar os processos produtivos como passíveis de subdivisões até o nível da microeconomia, e que as leis da microeconomia e da macroeconomia seriam iguais. Esta visão recebeu um golpe na crise de 1929, mas sobreviveu através da junção do keynesianismo com a economia neoclássica, realizado por Samuelson (1976), dando a origem à escola da síntese neoclássica. Com isto o processo econômico continuou a ser examinado na microeconomia e na macroeconomia com o mesmo modelo anterior, fechado e mecanicista.

O novo modelo apresentado acima considera que o processo de produção é um sistema aberto, fora do ponto de equilíbrio e complexo, portanto com propriedades que estão apenas no sistema como um todo, e não estão nas partes. O capitalismo pela economia de mercado está baseado em um mecanismo violento de seleção em que as inovações que significam aumento na produtividade das empresas são selecionadas com o predomínio das empresas que as utilizam, e destruição das demais. O dinamismo do capitalismo advém da seleção realizada pelo mercado sobre as empresas pelo hoje, o aqui e o agora, nunca pelo futuro nem por uma visão do que é melhor para a humanidade, mesmo que seja só para o momento atual. Esta visão imediatista e egoísta leva a que as decisões não levem em consideração o futuro da

humanidade. Só superando uma economia de mercado poderemos ter uma nova sociedade em que o futuro seja um elemento de decisão importante.

Hoje as empresas, através da publicidade, superaram a etapa em que estudavam seus consumidores para vender mais. Agora elas forjam seus consumidores através de uma propaganda pesada, que procura moldar a satisfação dos mesmos pelo consumo de seus produtos. As pessoas são consumidoras e só podem ser felizes no consumo. É o aqui e o agora egoísta. O mercado seleciona e obriga ao aumento de eficiência das empresas. Este processo deu um enorme dinamismo ao capitalismo sob o ponto de vista da produtividade de bens materiais, no entanto esta otimização da produção no nível micro não leva à otimização no nível macro, no nível da sociedade. Há características fundamentais para a humanidade que somente se realizam e aparecem no nível da sociedade, como a preservação do meio ambiente, a resolução das diferenças sociais e as atividades levando em conta as necessidades das próximas gerações. Há qualidade que estão apenas no todo, não estão nas partes, e o reducionismo às partes não permite levar em conta as necessidades humanas globais e históricas.

Para mudar teremos uma luta longa pela frente, e para consegui-lo devemos criticar o modelo atual de produção, desenvolver idéias e participar da organização da sociedade civil, pois só com um salto de qualidade na intervenção das pessoas organizadas nas formas possíveis poderemos ultrapassar esta etapa da humanidade. É uma tarefa de todos.

8 Referências Bibliográficas

CARPINTERO, Oscar. **La Bioeconomia de Gergescu-Roegen**. Espanha: Novagràfik, 2006.

CECHIN, Andrei. **A natureza como limite da economia. A contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen**. São Paulo: Editora Senac São Paulo/Edusp, 2010.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The entropy law and the economic process**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1971.

MANKIW, Gregory N. **Introdução à economia: princípios de micro e macroeconomia**. São Paulo: Elsevier, 2001.

MARX, Karl. **O Capital: Crítica da Economia Política**. Livro 1, Vol. 1. Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, 1971, 1ª. Ed. 1867.

MOWERY, David C.; ROSENBERG, Nathan. **Trajetórias da inovação**. Campinas: Editora da Unicamp, 2005.

SAMUELSON, Paul A. **Economics**. Nova York: McGraWILL, 1976.

SOLOW, Robert M. **A contribution to the theory of economic growth**. The Quarterly Journal of Economics, vol. 70, nr.1, 1956.