**A INTEGRAÇÃO DOS FLUXOS FÍSICOS de matéria e energia na análise da reprodução econômica da sociedade**

Benedito Silva Neto

**Introdução**

 A adequação das categorias econômicas para a análise dos problemas ambientais que ameaçam a sustentabilidade das sociedades contemporâneas tem sido objeto de um intenso debate. No centro deste debate encontram-se as relações entre os aspectos físicos e os aspectos econômicos das atividades humanas, o que coloca a necessidade da elaboração de modelos em termos físicos, explicitando suas relações com os valores monetários necessários para a orientar a alocação dos recursos nas unidades de produção, assim como a distribuição da produção e a realização dos investimentos nas sociedades. A elaboração de modelos desse tipo, porém, não é algo trivial. Ela exige a consideração metódica do papel desempenhado pela formação de rendas no conjunto da economia, na medida em que é por meio das rendas que se pode atribuir preços as riquezas naturais. E para que isto possa ser feito adequadamente é preciso reconhecer explicitamente a diversidade dos processos de trabalho (ou seja, as técnicas) presentes na sociedade, a qual representa diferentes possibilidades de relação dos seres humanos com a natureza. O objetivo deste texto é realizar uma apresentação sucinta de um modelo deste tipo.

**Modelagem da relação entre riquezas físicas e valores monetários**

 Diante das exigências citadas anteriormente, a programação linear pode fornecer um método de cálculo adequado para elaborar modelos que possam gerar esquemas de reprodução econômica nos quais o papel das riquezas naturais possa ser explicitamente analisado. A estrutura formal do modelo proposto é apresentada a seguir (Silva Neto, 2020). O problema primal é,

| Função objetivo: minimizar $\sum\_{}^{}c\_{i}^{l}q\_{i}^{l}+\sum\_{}^{}c\_{z}^{x}m\_{z}^{x}$ | () |
| --- | --- |

  *Sujeita às restrições*

| Demanda de produtos de consumo final$$∑q\_{i}^{l}\geq D\_{i}$$ | () |
| --- | --- |
| Demanda de meios de produção$$∑m\_{z}^{x}-∑a\_{iz}^{l}q\_{i}^{l}\geq M\_{z}$$ | () |
| Demanda de recursos naturais$$∑σ\_{jz }^{x} m\_{z}^{x} \leq R\_{j}$$ | () |

onde temos,

$c\_{i}^{l}$ = quantidade (*c*) de trabalho necessária por unidade do produto (*i*) com a técnica (*l*).

$q\_{i}^{l}$ = quantidade (*q*) do produto (*i*) fabricado com a técnica (*l*)*.*

$c\_{z}^{x}$ = quantidade (*c*) de trabalho por unidade de meio de produção (*z*) gerado com a técnica (*x*).

$m\_{z}^{x}$ = quantidade (*m*) do meio de produção (*z*)gerado com a técnica (*x*).

$D\_{i}$ = quantidade demandada (*D*) de produto (*i*).

$M\_{z}$ = quantidade excedente (*M*) do meio de produção (*z*) necessária para a reprodução ampliada (reprodução simples *M = 0*)

 $a\_{iz}^{l}$ = quantidade (*a*) do meio de produção(*z*) necessária para produzir uma unidade do produto (*i*) com a técnica (*l*)*.*

$σ\_{jz}^{x}$ = quantidade () de recurso natural (*j*) necessário para a produção do meio de produção (*z*) com a técnica (*x*).

$R\_{j}$ = quantidade máxima (*R*) que pode ser utilizada do recurso natural(*j*)*.*

A estrutura formal do problema dual do modelo é,

| Função objetivo: maximizar $\sum\_{}^{}D\_{i}p\_{i}+\sum\_{}^{}M\_{z}β\_{z}-\sum\_{}^{}R\_{j}r\_{j}$ | () |
| --- | --- |

 *Sujeita às restrições*

*Condições técnicas para a formação dos preços dos produtos finais*

| $$p\_{i}-∑a\_{iz}^{l}β\_{z}\leq c\_{i}^{l}$$ | () |
| --- | --- |

*Condições técnicas para a formação dos preços dos meios de produção e das rendas geradas pela escassez dos recursos naturais*

| $$β\_{z}-∑σ\_{jz}^{x}r\_{j}\leq c\_{z}^{x}$$ | () |
| --- | --- |

onde, além das variáveis do problema primal, já descritas, temos,

$p\_{i}$ = preço (*p*) do produto (*i*)*.*

$β\_{z}$*=* preço ($β$) do meio de produção (*z*),gerado pelo trabalho.

$r\_{j}$ = preço (*r*) do recurso natural (*j*)*.*

De acordo com o teorema da dualidade forte (Acher; Gardelle, 1978, p. 31-33), com as soluções ótimas temos,

| mínimo $\sum\_{}^{}c\_{i}^{l}q\_{i}^{l}+\sum\_{}^{}c\_{z}^{x}m\_{z}^{x}$= máximo $\sum\_{}^{}D\_{i}p\_{i}+\sum\_{}^{}M\_{z}β\_{z}-\sum\_{}^{}R\_{j}r\_{j}$ | () |
| --- | --- |

ou seja, o valor em tempo de trabalho socialmente necessário para a produção corresponde, quantitativamente, ao seu valor monetário, determinado pelos preços. É interessante salientar, porém, que para isto é necessário subtrair as rendas definidas a partir dos preços dos recursos naturais do valor monetário total, definido a partir dos preços dos produtos gerados pelo trabalho. Os preços fornecidos pelo modelo, portanto, incluem redistribuições do valor (em tempo de trabalho), não podendo ser reduzidos a estes.

 De acordo com o teorema fundamental da programação linear (Boldrini et al., 1980, p. 368), o número de variáveis na solução ótima corresponde ao número de restrições ativas no problema. Assim, no modelo apresentado, o número de atividades na solução ótima é igual ao número de restrições que a limitam. Isto implica que, dentre as restrições do problema dual, apenas as restrições ativas, em que a desigualdades se tornam igualdades, correspondem às técnicas que constam na base ótima do problema primal. Essas técnicas, individualmente, são as únicas que permitem que o valor agregado monetário seja equivalente ao valor em tempo de trabalho diretamente aplicado na produção. Para as técnicas que não constam na solução, o valor agregado monetário é inferior ao tempo de trabalho diretamente aplicado. Portanto, o valor agregado nas unidades de produção é um critério eficiente para a escolha de técnicas que permitem que no conjunto da economia o trabalho socialmente necessário à produção seja minimizado e o valor monetário da produção seja maximizado, sendo ambos, nesta situação, quantitativamente equivalentes, conforme descreve a expressão (8). Estes resultados indicam que os preços a partir dos quais são calculados os valores monetários, nas condições descritas pela expressão (8), constituem-se em informações que permitem que as decisões microeconômicas, relativas à escolha das técnicas de produção, sejam coerentes com as decisões macroeconômicas (resultantes essencialmente da luta de classes), relativas à demanda de produtos finais, aos investimentos e ao uso dos recursos naturais. Neste sentido, é importante salientar que a demanda de produtos finais, representada pela variável (*D*), o excedente de meios de produção necessário para satisfazer um aumento da demanda (investimento para o crescimento econômico), representado pela variável (*M*) e o nível de exploração dos recursos naturais, representado pela variável (*R*), são expressos em unidades físicas, correspondendo, portanto, a riquezas e não a valores (em tempo de trabalho ou monetário). Tais variáveis são exógenas ao modelo, isto é, os seus valores não são fornecidos pela sua solução, mas são dados de entrada para o cálculo da mesma. Assim, o processo de formação dos preços descrito pelo modelo indica que, devido ao caráter qualitativo das riquezas, a sua produção e o seu consumo não podem ser definidos pelos preços, mas, ao contrário são estes que são definidos a partir das decisões tomadas na sociedade sobre a produção e o consumo das suas riquezas físicas. Isto implica que a integração das riquezas físicas na circulação econômica por meio dos preços ocorre a partir da sua consideração como elementos exógenos ao processo econômico propriamente dito na medida em que este é qualitativamente distinto dos processos naturais que se encontram na origem das riquezas materiais. Assim, de acordo com a estrutura do modelo apresentado, os processos que determinam a produção e o consumo de riquezas por uma sociedade não podem ser reduzidos a questões de ordem técnico-econômica, embora eles devam se subordinar as restrições técnicas existentes à produção. Mas estas restrições técnicas jamais podem, por si mesmas, determinar o resultado de tais processos. As funções objetivo dos problemas primal e dual do modelo, portanto, só podem possuir um caráter meramente operacional.

 Por outro lado, pode-se alegar que, pelo menos do ponto de vista ambiental, a própria escassez dos recursos naturais poderia assegurar uma exploração adequada dos mesmos, ao provocar o aumento dos seus preços e, assim, induzir a adoção (e a geração) de técnicas poupadoras em recursos naturais. Neste caso, os principais obstáculos à sustentabilidade estariam na insuficiência do progresso técnico e, principalmente, em interferências externas (como, por exemplo, intervenções do Estado) nos mecanismos econômicos relacionados à formação dos preços. Neste sentido, os processos econômicos por si mesmos, desde que “livres” de qualquer intervenção, seriam capazes de assegurar as condições para a sustentabilidade ecológica das sociedades humanas.

 Mas nada assegura que o nível de exploração dos recursos naturais considerados escassos não possa provocar um grau de destruição de riquezas que ultrapasse a capacidade dos sistemas naturais em renová-las, ou de assegurar um ritmo compatível entre o seu grau de exploração e as condições para a sua substituição, no caso de recursos não renováveis. Isto porque a escassez de recursos naturais é definida em função das atividades humanas e não, pelo menos imediatamente, pela dinâmica dos sistemas naturais, a qual não depende dos processos econômicos (embora possa ser perturbada pelos mesmos), mas é definida por complexos mecanismos de auto-organização baseados em transformações irreversíveis de energia (Prigogine, 1986). Tais mecanismos implicam na necessidade de um constante abastecimento e transformação de energia de baixa entropia, assim como pela manutenção da biodiversidade e por um adequado funcionamento dos ciclos biogeoquímicos (do carbono, do nitrogênio e do oxigênio, por exemplo) assegurado pelos sistemas naturais. Neste ponto vale salientar que os sistemas econômicos possuem, de um ponto de vista físico-químico, as mesmas características energéticas dos sistemas naturais. No entanto, não há processos naturais de regulação entre o funcionamento dos sistemas econômicos e o dos sistemas naturais de forma que estes últimos possam automaticamente assegurar a sustentabilidade dos primeiros. Isto porque a escassez de recursos naturais pode vir a exercer uma influência significativa sobre os processos econômicos somente após a sua exploração atingir níveis incompatíveis com a sustentabilidade das sociedades humanas. A consideração neste artigo de que as riquezas físicas são variáveis verdadeiramente exógenas, cujas quantidades a serem utilizadas não podem ser determinadas por considerações exclusivamente econômicas, é coerente com esta interpretação.

**Formulação prática do modelo**

 O modelo básico apresentado na seção anterior pode ser reformulado de forma mais completa, com, por exemplo, a inclusão de meios de produção que exigem mais de um ciclo de produção para serem consumidos (o que gera a formação de estoques) e a possibilidade de certos produtos de consumo final exigirem recursos naturais diretamente, como no caso da terra na agricultura (Silva Neto, 2021). No entanto, o modelo mostrado anteriormente foi elaborado com base no tempo de trabalho. Isto dificulta a sua aplicação prática pois exige dados de tempo de trabalho dificilmente disponíveis, além de dificultar a relação dos preços obtidos com os vigentes na realidade. Porém, como o valor agregado corresponde ao equivalente monetário do tempo de trabalho, modelos elaborados com base no valor agregado (e não no tempo de trabalho) podem ser considerados, pelo menos de um ponto de vista conceitual, como equivalente ao modelo original, o que facilita significativamente a aplicação prática do modelo na medida em que neste os preços são obtidos diretamente em moeda corrente. Por outro lado, como o valor agregado é calculado a partir dos preços, é evidente que a solução do problema dual do modelo em sua versão monetária fornece os mesmos preços empregados para o cálculo do valor agregado, ou seja, o modelo básico torna-se tautológico, com todas as técnicas sendo indicadas como eficientes[[1]](#footnote-1). No entanto isto não retira a utilidade prática do modelo para a análise do impacto da alteração dos seus parâmetros sobre o sistema de preços. O modelo coloca, assim, a possibilidade de uma planificação ecológica realizada por meio da definição de sistemas de preços que poderiam tornar o emprego de técnicas mais compatíveis com a sustentabilidade interessantes de um ponto de vista microeconômico[[2]](#footnote-2).

**Conclusão**

 A discussão aqui realizada permite concluir que a consideração explícita dos fluxos físicos de matéria e de energia na análise do processo de reprodução econômica pode ser realizada de maneira formalmente consistente, desde que a economia seja reconhecida como um sistema aberto, de natureza fundamentalmente termodinâmica. Além disto, a aplicação prática do modelo não apresenta dificuldades particulares na medida em que ele pode ser elaborado em moeda corrente. O modelo permite colocar a possibilidade de uma planificação ecológica diretamente baseada em fluxos físicos.

**Referências**

ACHER, J. ; GARDELLE, J. **Programmation linéaire.**Paris: Dunod, 1978.

BOLDRINI, J. L.; COSTA, S. I. R.; FIGUEIREDO, V. L.; WETZWER, H. **Álgebra Linear**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1980.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **La nouvelle alliance. Métamorphose de la science.** Paris: Ed. Gallimard, 1986.

SILVA NETO, B. **Com Marx, para além de Marx. Ensaios sobre riquezas, valores e preços.** Rio de Janeiro: Ed. Telha, 2020.

SILVA NETO, B. A internalização dos custos da transição agroecológica em sistemas agrários. Porto Alegre: Ed. Fi, 2021.

1. O que de um ponto de vista formal não é possível. Na programação linear o número de variáveis da base ótima é igual ao número de restrições ativas. Caso o número de variáveis da função objetivo for diferente do número de restrições, isto impossibilita que todas as alternativas técnicas sejam eficientes. [↑](#footnote-ref-1)
2. Aplicações do modelo em sua versão monetária são realizadas por Silva Neto (2021). [↑](#footnote-ref-2)