

Economia ricardiana multisetorial em sistema multiagente

Eleutério F. S. Prado¹

Abertura

Como se sabe, a questão central da obra de David Ricardo vem a ser determinar as leis que regulam a distribuição do produto nacional entre as classes sociais, a saber, dos proprietários da terra, dos donos do capital e trabalhadora, que é proprietária e dona apenas de seus próprios esforços e ocupa posição subordinada na sociedade. Para tanto, apoiando-se em antecessores como Turgot, Stuart Mill, Adam Smith e outros, ele estuda o processo de reprodução do sistema econômico mercantil. Trata, assim, da contínua produção nas empresas capitalistas de riqueza na forma de mercadorias, das trocas que ocorrem nos mercados e da geração de renda da terra, lucro e salário por meio do emprego de homens, terras e máquinas. Eis que o processo econômico engendra tais parcelas distintas em que se divide o produto da nação e que são apropriadas por aquelas classes, respectivamente. Note-se que Ricardo não se interessa pela repartição num ponto do tempo, mas sim pela “trajetória natural da renda, do lucro e do salário” (Ricardo, 1982, p. 39).

O método empregado por Ricardo para atingir esse objetivo, como bem se sabe também, consiste em compreender antes de tudo como se estabelecem as proporções em que as mercadorias são trocadas com base na teoria do valor trabalho. A sua tese famosa é que o valor de troca depende essencialmente da quantidade relativa de trabalho necessária para a produção das mercadorias, direta e indiretamente, e não da remuneração maior ou menor recebida pelos trabalhadores nessa produção. O autor clássico, entretanto, tinha plena consciência das dificuldades dessa proposição fundadora de sua teoria já que acrescentou a ela uma modificação importante: “o princípio” – escreveu – “de que a quantidade de trabalho empregada na produção de mercadorias regula seu valor relativo é consideravelmente modificado pelo emprego da maquinaria e de outros capitais fixos e duráveis” (Ricardo, 1982, p. 52). Na verdade, tal como ele mesmo o explica, o problema com que se defronta origina-se por serem diferentes as proporções em que o capital é empregado nas diversas atividades, de um lado, para contratar força de trabalho e, de outro, para adquirir os meios de produção como ferramentas, maquinaria e edificações. Logo, a lei do valor mostra-se já para o próprio

¹ Professor da USP. Correio eletrônico: eleuter@usp.br

Ricardo incongruente com a lei da igualação das taxas de lucro obtidas pelos capitais aplicados na produção das diversas mercadorias. De qualquer modo, a partir dessa teoria do fundamento dos preços relativos, ele se considera em condições de desenvolver as teorias da formação da renda da terra, dos salários e dos lucros, assim como a teoria da flutuação dos preços de mercado em torno do preço natural.

Não se pode pensar que Ricardo tenha construído as suas proposições com base numa noção de equilíbrio de longo prazo em que as proporções setoriais e repartitivas se mantêm constantes. É certo que, havendo reconhecido as flutuações permanentes dos preços de mercado em torno dos preços naturais, fez abstrações delas na condução de suas análises. Tais “efeitos temporários” – diz – “deixaremos absolutamente de considerá-los, enquanto examinarmos as leis que regulam os preços naturais, os salários naturais e os lucros naturais, pois são efeitos completamente independentes daquelas causas acidentais” (Ricardo, 1982, p. 79). Ao fazê-lo, adota um suposto de equilíbrio entre oferta e demanda no sentido da economia clássica. Porém, o seu problema teórico – entender as mencionadas trajetórias – não poderia ser resolvido sob a suposição de que as proporções do sistema econômico permanecessem constantes com a passagem do tempo. Em consequência, depara-se com um problema teórico de monta: por exemplo, se subisse ou descesse o salário natural, no longo prazo, isto alteraria os preços naturais independentemente das variações em seus valores-trabalho. Como separar, então, as variações nos valores relativos das mercadorias das variações em seus “valores reais”? Em consequência dessa dificuldade, Ricardo, como se sabe, lamenta a inexistência de uma medida invariável de valor e de “algum padrão invariável de medida de valor que não fosse, ele mesmo, sujeito às flutuações às quais estão expostas as demais mercadorias” (idem, p. 59). Essa demanda insatisfeita², entretanto, derivada de demanda mais profunda de coerência analítica, reclama implicitamente um desenvolvimento teórico baseado em noção de equilíbrio de longo prazo.

As teorias de Ricardo do começo do século XIX – assim como as teorias de todos os economistas políticos até o advento da teoria neoclássica – foram desenvolvidas de modo informal no sentido matemático do termo, por meio de exposição discursiva que se vale apenas dos recursos da aritmética. Como se sabe, esse modo de apresentar a teoria econômica, presente na tradição da Economia Política Clássica, modifica-se aos poucos apenas com o advento da teoria neoclássica. Essa mudança no fazer da teoria econômica veio abranger a

² No desenvolvimento de sua teoria, Ricardo supôs, como se sabe, que a consideração explícita das diferenças na composição do capital entre setores – e, assim, da interdependência entre o valor apropriado setorialmente e a repartição do produto líquido – não traria grande modificação em suas conclusões.

tradição clássica por meio da retomada do problema central da análise ricardiana, tal como acima apontado, por Piero Sraffa, em seu marcante livro *Produção de Mercadoria por meio de Mercadoria*, o qual foi publicado depois de três décadas de elaboração, apenas em 1959.

Sraffa, ao mesmo tempo em que se afasta da teoria do valor trabalho como explicação última dos preços naturais, encara o problema ricardiano como algo que pode ser resolvido meramente representando o processo de reprodução do sistema econômico por meio de um sistema de equações. Assim, a solução da contradição encontrada por Ricardo na compreensão da produção social passa a ser buscada na análise matemática e isto é levado a efeito pela formulação de uma noção explícita de equilíbrio de longo prazo. A principal consequência desse tratamento do problema é reconhecida até certo ponto pelo próprio Sraffa. Após formular logo no primeiro capítulo de seu livro um sistema matemático simples da produção de subsistência, afirma sem ambigüidade que “há um único conjunto de valores de troca que, se adotado pelo mercado, restabelece a distribuição original dos produtos e torna possível que o processo se repita; tais valores surgem diretamente dos métodos de produção.” (Sraffa, 1983, p. 179).

Sraffa “reabilita” assim a análise ricardiana no seio da “economia moderna” e propicia o surgimento na segunda metade do século XX de uma nova escola de economia política que ficou sendo chamada de neo-ricardina. Ainda que sem intenção, muito ao contrário, esse autor – assim como a corrente de pensamento que se desenvolve com base em sua obra – elabora um aparato analítico que se aproxima conceitualmente da teoria neoclássica. Mesmo focando a reprodução do sistema como um todo e não os ajustes marginais das partes componentes, ele faz isso ao atribuir centralidade ao equilíbrio na explicação dos valores de troca. Assim, entende estes últimos como meras relações quantitativas e externas entre produtos ou valores de uso que se estabelecem apenas nos mercados. Eis que a análise de equilíbrio nesse sentido – este é o seu segredo – permite escamotear as contradições que se manifestam ao observador científico quando este procura entender o processo social que equipara valores de uso heterogêneos entre si³. Ao transferir o problema de compreender as relações das mercadorias, encontrado na investigação da forma valor de troca, tal como existe em permanente flutuação, para o plano meramente formal e lógico, dá-se conta que trilha um caminho conhecido da teoria econômica. É por isso que ele se preocupa em advertir aos seus leitores que não segue o método marginalista: “a investigação” – menciona enfaticamente – “ocupa-se exclusivamente

³ Se os valores de troca fossem pensados como meras relações quantitativas e externas entre as mercadorias, na ausência de equilíbrio ou tendência forte ao equilíbrio, eles se afigurariam como totalmente irracionais. O sistema econômico do capital teria então de ser pensado como caótico – o que ele não é.

daquelas propriedades de um sistema econômico que não dependem de variações na escala da produção ou nas proporções dos ‘fatores’” (Sraffa, 1983, p. 175). Entretanto, o raciocínio marginalista é peça central da teoria neoclássica porque esta pretende casar perfeitamente a análise de equilíbrio com o individualismo metodológico de um modo rigorosamente reducionista (Hahn, 1982).

Não há dúvida de que o método analítico de Sraffa e dos neo-ricardianos em geral propicia o desenvolvimento de uma modalidade particular de economia vulgar no sentido de Marx – ou seja, daquele tipo de ciência que se preocupa apenas com os nexos aparentes entre os fenômenos. Porém, mesmo sendo vulgar, não vem a ser irrelevante. É certo que permitiu a obtenção de diversas proposições analíticas importantes para a compreensão da estrutura do sistema econômico, dentre as quais se destaca, por exemplo, a noção de fronteira de salário e lucro⁴. Pagou, entretanto, um alto custo por essa opção metodológica. Como contrapartida dessa preferência científica pela mera apreensão em equações da positividade fenomênica, teve de abandonar a teoria do valor trabalho. Eis que, por um lado, a questão que essa teoria resolve se põe apenas quando se encara a produção e a circulação de mercadorias como processo dinâmico em permanente estado de transformação – e desequilíbrio. Ora, como o sistema econômico do capital é mesmo anárquico, é-se obrigado a perguntar pelo que lhe confere certa coerência microeconômica e macroeconômica?

Note-se, porém, que antes de Sraffa, a natureza dessa questão já havia sido radicalmente reformulada por Marx em *O Capital*. Diferentemente dos economistas clássicos, esse autor não procura explicar diretamente os preços relativos por meio dos quanta de valor trabalho contidos nas mercadorias. Busca encontrar, isto sim, os nexos profundos das relações aparentes – proporções de troca – que se manifestam na esfera da circulação, ou seja, quando as mercadorias são trocadas umas pelas outras ou, mais generalizadamente, pelo dinheiro sob a égide do capital (Grespan, 2001). E, com esse propósito, descobre que a lei do valor tem de ser negada dialeticamente para que o valor possa “explicar” os preços (Fausto, 1983, p. 114-120). Para tanto, a contradição entre a lei do valor e a lei da igualação das taxas de lucros é tomada como real, ou seja, como pertencente à própria realidade do sistema – e não meramente como contradição formal do entendimento que ele mesmo pode fazer desaparecer.

⁴ Porém, a fronteira de salário lucro, justamente pelo fato de terem os neo-ricardinos abandonado as teorias do valor trabalho e da exploração, é apresentada como representação de uma gama bem irrestrita de repartições do produto líquido. Nessa visão, a taxa de salário e a taxa de lucro aparecem como se fossem determinadas, simultaneamente, pela luta econômica e pelo poder de barganha relativo das categorias sociais, trabalhadores e capitalistas. Ambas essas categorias são encaradas, assim, como se fossem igualmente sujeitos políticos plenos.

Aqui se pretende mostrar como o pensamento clássico em Economia Política – e, particularmente, a economia política ricardiana – pode ser retomado de um modo que faça justiça à sua enorme realização teórica, sem capitular diante da teoria neoclássica. Sem desprezar também certos resultados da análise neo-ricardiana, busca-se desenvolver outro tipo de teoria econômica, a qual escapa, entretanto, da análise de estado estacionário ou de crescimento proporcional. À medida que essa elaboração teórica seja capaz de deixar à mostra as contradições que são inerentes ao processo de reprodução do sistema econômico tal como aparecem no seu funcionamento, ela abre a possibilidade de resgatar os elementos científicos mais profundos avançados por aquela corrente de pensamento econômico dos primórdios do capitalismo industrial. A sua característica central vem a ser representar o processo de reprodução social por meio de modelos espacial e temporalmente dinâmicos, os quais são implementados computacionalmente. Nesses modelos – usualmente considerados como sistemas de múltiplos agentes –, os resultados macroeconômicos aparecem como fenômenos emergentes que se originam das interações microeconômicas de agentes heterogêneos organizados sistematicamente (Prado, 2006). Nesse sentido, a investigação ocupa-se também daquelas propriedades do sistema econômico capitalista que dependem de variação da produção ou das proporções do sistema – mas não no sentido neoclássico.

Sistema Multiagente

Para pensar o sistema econômico como um sistema multiagente é preciso construir uma economia artificial dotada de dimensão espacial e temporal. Dito de outro modo, é necessário formular um modelo dinâmico e computacional capaz de apreender elementos essenciais da complexidade social do sistema econômico. Tal modelo vem a ser um sistema de interação formado por agentes que assumem certo conjunto de estados, que habitam determinado ambiente e que interagem entre si e com o próprio espaço em que se situam, local e continuadamente. O ambiente espacial é representado usualmente por um reticulado de duas – ou, se possível, três – dimensões do espaço arquimediano. Os sítios desse reticulado podem ser passivos, mas podem também serem dotados de agência; eis que podem se transformar ao longo do tempo seja por determinações internas seja por sofrerem ação externa. Os agentes móveis que moram nesse reticulado são os principais motores da dinâmica que o modelo pode experimentar. Eles representam empresas, trabalhadores, capitalistas ou quaisquer outras entidades econômicas em que o analista possa estar

eventualmente interessado. Eles se locomovem pelo reticulado, estabelecendo relações e interagindo no interior dessas relações.

Em complemento, pois, essa espécie de sistema dinâmico requer a especificação das regras de comportamento que os diversos agentes e sítios do ambiente podem seguir em seus movimentos no tempo e no espaço, conforme for o caso. Essas regras definem conjuntos abertos ou fechados de ações e interações possíveis de ocorrer entre as suas partes constituintes. Mais precisamente, é preciso estabelecer as regras de inter-relação dos sítios do ambiente entre si, dos agentes móveis em relação a esses sítios, desses agentes entre si mesmos e, finalmente, dos agentes com os estados globais que vão se configurando ao longo do processo de simulação. De modo geral, os movimentos dos agentes encontram-se estruturados não apenas por regras de comportamento, mas também por vínculos. Tais vínculos que interligam os agentes em geral podem ser fortuitos ou persistentes; eles podem ocorrer dentro das possibilidades permitidas pela estrutura geral do modelo ou podem acontecer devido à imposição de redes pré-determinadas. De qualquer modo, a força desse tipo de modelo é que permite o estudo de propriedades emergentes ao nível global das interações das partes, funcionando como laboratórios virtuais de experimentação. Desse modo, permitem encarar os problemas e os resultados da complexidade que se escondem em outras formulações. São construídos também para responder a questão de saber que regras operando ao nível das interações microsociais são suficientes para gerar certas configurações macrosociais que despertam o interesse da pesquisa em ciência social (Epstein e Axtell, 1996, p. 1-6).

Há uma infinidade de possibilidades para se construir modelos com base nessa estrutura analítica básica. E a criatividade da ciência é certamente ilimitada. Aqui se está interessado em elaborar algo que seja capaz de reproduzir as características mais importantes da concepção ricardiana de sistema econômico, incluindo a produção e a circulação de mercadorias, a repartição da renda, o consumo para a sobrevivência e o investimento reprodutivo.

Para efeito de posterior simulação do funcionamento do modelo num pacote computacional de uso livre, caminha-se aqui no sentido de construir um sistema econômico artificial formado por apenas três setores e duas categorias sociais. Um deles produz meios de produção duráveis, os quais por simplicidade de expressão serão frequentemente chamados de máquinas. O outro setor considerado produz meios de produção circulantes, os quais são empregados como insumo seja em seu próprio processo produtivo seja na produção dos outros dois setores. Um terceiro setor produz determinado bem de consumo de uso

generalizado. Em cada setor há uma quantidade fixa de empresas e cada uma delas é propriedade de determinado capitalista. Para produzir, cada empresa tem de adquirir máquinas e insumos em mercados específicos, assim como contratar trabalhadores no mercado de força de trabalho. Os trabalhadores atuam como consumidores e os capitalistas atuam tanto como consumidores quanto como investidores. A tecnologia de produção é definida por meio de coeficientes de entrada e saída, os quais podem em princípio sofrer mudanças devidos às transformações tecnológicas. Na implementação a ser apresentada mais a frente, entretanto, essa possibilidade não será ainda explorada.

O sistema produtivo do modelo pode ser representado do modo usual. Nas equações abaixo os setores são identificados de cima para baixo, respectivamente, pelas letras “r” de “red”, “g” de “green” e “b” de “blue”, ou seja, por nomes de cores em inglês. Esse recurso visa facilitar a posterior interpretação dos gráficos descritivos do funcionamento do modelo para um público o mais amplo possível.

$$(k_{rr} p_r + a_{gr} p_g + l_r \bar{w}_r) (1 + r_r) = p_r$$

$$(k_{rg} p_r + a_{gg} p_g + l_g \bar{w}_g) (1 + r_g) = p_g$$

$$(k_{rb} p_r + a_{gb} p_g + l_b \bar{w}_b) (1 + r_b) = p_b$$

Nesse sistema, os coeficientes k_{ri} representam a quantidade de máquina por unidade de produto “i”, em que “i” doravante vem a ser sempre “r”, “g” ou “b”. Note-se que para calculá-los é preciso supor que as máquinas empregadas no setor duram um determinado período e que têm certa capacidade de produção por período de tempo. Os coeficientes a_{gi} indicam as quantidades de insumo “g” utilizado na produção de uma unidade de “i”. Já os coeficientes l_i mostram as quantidades de tempo de trabalho necessárias para produzir uma unidade de “i”. Os trabalhadores são considerados heterogêneos quanto à sua capacidade produtiva, mas as empresas, entretanto, os enxergam como força de trabalho, computando o seu esforço produtivo apenas como tempo de trabalho doados à produção. Tais coeficientes representam, pois, médias objetivamente válidas. Os salários por meio dos quais esses trabalhadores são contratados variam de contrato particular para contrato particular dentro de certos limites; em consequência, têm de entrar no sistema de equações também como médias.

As variáveis r_i são as taxas de lucro setoriais e as variáveis p_i são os preços das mercadorias produzidas em cada um dos três setores. É evidente que existem outras formas de considerar os efeitos do “capital fixo”, assim como outras maneiras de construir as equações de preços. O modo escolhido facilita a programação do modelo, respeitando a tradição teórica da economia política ricardiana.

O modelo contém diversas firmas em cada setor que podem produzir mais ou menos mercadorias, mercados em que se comercializam quantidades maiores ou menores destas mercadorias, e uma população de trabalhadores cujos membros podem estar empregados ou desempregados. A partir de determinadas condições iniciais, posto o sistema computacional em funcionamento, passam a mudar os estados das empresas, dos mercados e dos trabalhadores, configurando-se um processo evolutivo que só termina por opção do analista. As empresas ineficientes podem desaparecer, dando lugar a novas empresas, mas os trabalhadores, cuja identidade não tem qualquer relevância para o sistema, duram indefinidamente enquanto durar a simulação. Conforme se especificam os valores dos parâmetros do modelo – basicamente os coeficientes técnicos de produção – e se determinam as regras comportamentais, as próprias interações das firmas entre si e com os trabalhadores determinam o curso do processo reprodutivo.

Os coeficientes técnicos de produção variam entre as firmas de cada setor dentro de determinados limites para garantir certo nível de heterogeneidade. Dados os preços dos meios de produção e da força de trabalho observados no período anterior, definem-se os custos de produção. Dados os preços a serem cobrados no futuro, definem-se as taxas de lucro das firmas em cada um dos setores. Estas últimas mudam conforme se desenvolve o processo econômico, tendendo por razões endógenas a se igualarem; essa igualação, entretanto, nunca ocorre perfeitamente devido às tendências divergentes propiciadas pelos movimentos dos preços cobrados e das quantidades produzidas, período a período, os quais nunca cessam. Os preços de mercado variam também, dentro de certos limites, em torno de valores médios encarados como preços naturais. Eles são estabelecidos endogenamente no modelo, a partir da especificação de certos intervalos de variação; estes últimos se justificam já que representam as memórias da flutuação possível dos preços, as quais, como se sabe, subsistem sempre nos sistemas econômicos reais. A formação de preços é pensada como algo consistente, em princípio, com a teoria do valor trabalho. Ainda que não tenha sido considerada explicitamente, há na economia de referência do modelo uma mercadoria-moeda e todos os preços estão expressos nesse equivalente geral.

A temporalidade do modelo é formada por muitos períodos de produção, mas os contratos de compra e venda das mercadorias – em particular, da mercadoria força de trabalho – duram sempre apenas um único período. Assim, os trabalhadores estão sempre sendo recontratados a um salário variável que depende do preço de reserva por meio do qual cada trabalhador oferta a sua força de trabalho. Os contratos em geral são refeitos período a período segundo as circunstâncias, de tal modo que os estoques de mercadorias podem aumentar ou diminuir e, em particular, os trabalhadores existentes podem estar empregados ou desempregados. As empresas mantêm estoques de mercadorias, os quais diminuem conforme as mercadorias são vendidas e aumentam em razão da produção de novas mercadorias. O volume de contratação de mão-de-obra por parte das empresas capitalistas depende evidentemente do nível da atividade global da economia.

O modelo funciona dentro de uma seqüência determinada de operações computacionais. Inicialmente, as empresas formam os planos de produção para o período que se segue. Com base nas quantidades de mercadorias a serem produzidas, elas determinam as quantidades de insumo que devem adquirir e as quantidades de mão-de-obra que devem contratar para realizá-los. Como as máquinas têm duração determinada, as empresas de todos os setores, já no início do período de produção, têm de renovar imediatamente aquelas que esgotaram a sua capacidade de produzir. As empresas que deram prejuízo em vários períodos antecedentes morrem; em seu lugar, aparecem novas empresas com características semelhantes àquelas que desapareceram. Eventualmente, ocorre um processo de seleção natural na população de empresas. Em seqüência, então, acontecem os processos de mercado por meio dos quais os insumos são adquiridos e os trabalhadores são contratados. Em geral, a compra se dá ao preço de reserva de um dos vendedores da mercadoria, mas os compradores consultam vários deles para descobrir quem vende mais barato, para depois efetuar a compra mais vantajosa.

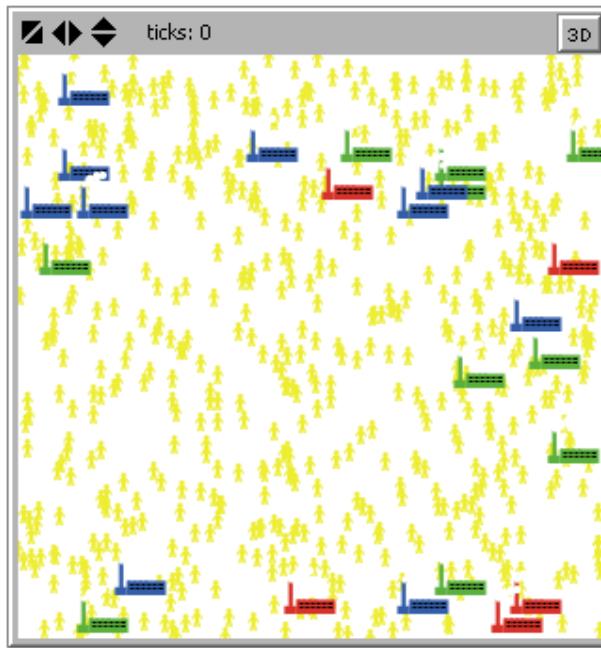
Os trabalhadores fixam, em cada período, dentro de determinado limite dado estruturalmente, os salários de reserva pelos quais pretendem ser contratados. Ao final de cada período, mas pensando já no período seguinte, os trabalhadores que obtiveram renda do trabalho assalariado no período que se encerra adquirem certas quantidades da mercadoria que veicula o bem de consumo necessário à sua sobrevivência. O mesmo ocorre com os capitalistas. O consumo dos primeiros ocorre endogenamente por necessidade do sistema, mas o consumo dos capitalistas tem natureza autônoma.

No final de cada período de produção, os planos de produção dos capitalistas estão realizados; os seus planos de venda, entretanto, podem não terem se realizado plenamente, podendo – isto é também possível – se efetivar num nível maior do que aquele esperado. Da perspectiva dos capitalistas, as partes do sistema erram para que ele possa funcionar. Os planos de parte dos trabalhadores – ou seja, daquela parte que permaneceu desempregada – frustram-se devido ao funcionamento do sistema. A realização dos planos da outra parte dos assalariados permite que eles sobrevivam e, assim, o próprio sistema. Do ponto de vista dos trabalhadores, o sistema é uma máquina que os consome.

De qualquer modo, no final de cada período, os capitalistas têm de refazer os seus planos para o período seguinte. Eles então determinam as quantidades a serem produzidas comparando a taxa de lucro individual obtida no período anterior com a taxa média de lucro do sistema como um todo, aumentando ou diminuindo o investimento conforme a primeira seja maior ou menor do que a segunda. O modelo opera só com reprodução simples, mas mesmo assim é preciso considerar certas restrições ao investimento que advém da necessidade de estabelecer dimensões mínimas e máximas para os estoques de mercadoria. Ao mesmo tempo, os capitalistas têm de determinar os preços a cobrar pelas mercadorias no próximo período e o fazem comparando as quantidades vendidas com as quantidades produzidas no período em consideração. Caso observem a ocorrência de excesso de demanda, eles aumentam o preço de oferta da mercadoria que produzem e comercializam, mas caso observem o contrário, diminuem-no. Desse modo, impõe-se ao modelo as mesmas regras dinâmicas de ajustamento do sistema econômico previstas por David Ricardo, fazendo isso não no nível setorial como ocorre na análise neo-ricardiana usual, mas no nível do comportamento das próprias empresas capitalistas.

Implementação

O modelo acima apresentado em seus grandes traços foi implementado em NetLogo (2007). Os trabalhadores aparecem no reticulado desse programa – ou seja, no espaço simbolizador do sistema econômico – como agentes que assumem a cor amarela quando estão desempregados, adotando a cor branca quando estão empregados. As empresas possuem imagens de fábricas que permanecem fixas nesse espaço. As empresas produtoras de mercadoria “r”, “g” e “b” têm, respectivamente, cor vermelha, verde e azul.



Na implementação computacional, o setor produtor de “r” é formado por cinco firmas e os setores produtores de “g” e “b” são formados por 10 empresas, as quais são distribuídas aleatoriamente no espaço do reticulado. Essas empresas diferem entre si pelos coeficientes de máquinas-produto e de insumo-produto, pelos coeficientes de emprego-produto, pelos preços que fixam para vender as suas mercadorias e pelas quantidades que produzem. Todos os coeficientes mencionados são fixos, mas os preços, as quantidades e os estoques de mercadoria, assim como os níveis de contratação de força de trabalho e os salários pagos, são variáveis dinâmicas do sistema. Vê-se, portanto, que as empresas em cada setor apresentam certo grau de heterogeneidade estrutural e comportamental. É com base nessas características que elas competem entre si nos mercados aí existentes.

Os coeficientes máquina-produto foram fixados do seguinte modo: $k_{rr} = 2/8$, em que o numerador é o número de máquinas empregado em cada uma das empresas do setor produtor de “r” e o denominador vem a ser obtido supondo que as máquinas duram dois períodos e se espera que produzam pelo menos 4 unidades por período. De modo semelhante, $k_{rg} = 3/90$ e $k_{rb} = 3/120$, pois, supõe-se que as empresas produtoras de “g” e “b” empregam três máquinas por período e esperam produzir, em média, durante três e quatro períodos, respectivamente, cerca de 30 unidades de produto por período. Na condição inicial, as idades das máquinas utilizadas pelas empresas foram fixadas aleatoriamente de modo consistente com a idéia de

que perdem seu valor de uso ao longo do tempo, devendo ser trocadas ao final de sua vida útil, de tal modo que o seu estoque é renovado pouco a pouco.

Inicialmente foi necessário fixar também vários outros parâmetros e condições iniciais. Indicando-se por $U(a;b)$ uma variável aleatória uniforme distribuída no intervalo entre “a” e “b”, tem-se: $a_{gr} \sim U(0.3; 0.5)$; $l_r \sim U(1.0; 1.2)$; $a_{gg} \sim U(0.3; 0.5)$; $l_g \sim U(0.7; 0.9)$; $a_{gb} \sim U(0.1; 0.3)$; $l_b \sim U(0.9; 1.1)$. As oscilações possíveis dos preços de mercado foram especificadas por meio de intervalos controláveis pelo analista econômico de modo externo ao programa; são eles: $p_r \in [pc_r - d; pc_r + d]$; $p_g \in [pc_g - d; pc_g + d]$; $p_b \in [pc_b - d; pc_b + d]$; nessas expressões, os preços centrais, indicados por pc_i , para $i = r, g, b$, assim como os desvios “d” podem ser fixados experimentalmente por todos aqueles que se utilizam do instrumento de computação. As quantidades e os estoques iniciais foram estabelecidos, algo arbitrariamente, da seguinte maneira: $q_r = 4$; $q_g = 15$; $q_b = 30$; $S_r = 15$; $S_g = 30$ e $S_b = 80$. É evidente que esses valores atribuídos às condições iniciais e aos parâmetros são arbitrários e que não há simulação senão com base em valores determinados desde o início.

Como já se mencionou, cada trabalhador é contratado ao preço de reserva com que oferta a sua força de trabalho. Assim, a cada trabalhador da economia artificial – supôs-se que existe ao todo 600 – deve corresponder um determinado salário de reserva mínimo, o qual foi fixado como uma variável aleatória do seguinte modo:

$$w = [0.7 + U(0;0.2)] + [0.4 + U(0;0.2)] * e$$

Note-se que “e” é o nível de emprego da economia como um todo, o qual foi calculado como uma razão entre o número de empregado e o número total de trabalhadores. Na concepção da formação do salário, supôs-se, portanto, que há um componente que depende do poder de barganha do trabalhador isolado e um componente que depende do poder de barganha da categoria como um todo, sendo este último medido pelo nível de emprego da economia. É evidente que o programa recalcula a cada período esse nível de emprego e que, portanto, a cada período, dependendo da conjuntura, o salário de reserva de cada trabalhador pode ser maior ou menor.

Em cada período de produção, o programa descobre quais máquinas tem de ser substituídas. Os produtores de máquinas trocam simplesmente as velhas por novas, contabilizando a operação ao seu preço de oferta. Os produtores de mercadoria “g” e “b”, entretanto, como não as produzem, devem comprá-las dos primeiros. Para tanto, há um mercado de máquinas. Os compradores consultam dois vendedores que têm máquinas disponíveis para vender – disponibilidade essa que é medida por meio de um estoque mínimo – a respeito de seus preços de oferta, adquirindo uma delas sempre ao menor desses preços.

Há também um mercado de força de trabalho e um mercado de insumo. Os capitalistas compram as quantidades de insumo “g” que necessitam para o período comprando de si mesmos ou das empresas fornecedoras de insumo, conforme sejam eles proprietários de firmas do setor produtor de “g” ou dos setores produtores de “r” ou “b”. O mecanismo é semelhante: o comprador consulta três vendedores e compra daquele que oferecer o insumo necessário ao preço mais baixo. Também no mercado de força de trabalho há um mecanismo semelhante: cada capitalista consulta três trabalhadores sobre o seu preço de oferta e contrata aquele que se oferecer ao salário mais baixo. Finalmente, é preciso considerar o mercado de bens de consumo. Os vendedores, agora, são os capitalistas do setor produtor de “b”; já os compradores são os trabalhadores e os próprios capitalistas dos setores produtores de “r” e “g”. Ele funciona do mesmo modo do que os outros anteriormente descritos: capitalistas e trabalhadores enquanto consumidores consultam três vendedores e adquirem a mercadoria ao preço mais baixo.

Observe-se, agora, inspecionando as equações acima apresentadas, que as taxas de lucro setoriais, r_r , r_g e r_b – tal como a variável “e” – são determinadas endogenamente como consequências de decisões dinâmicas sobre preços a cobrar e sobre as quantidades a serem produzidas. No modelo construído no espírito da economia ricardiana elas aparecem como variáveis fundamentais na determinação do investimento feito período a período, em cada uma das empresas dos três setores. Na verdade, de modo simplificado, mas sem perda de conteúdo econômico, supôs-se que as firmas determinam diretamente as quantidades de mercadoria que desejam produzir em cada momento do processo reprodutivo. Elas o fazem, pois, considerando as taxas de lucro próprias e a taxa de lucro geral da economia, levando em conta, também, o nível do estoque de mercadorias acabadas. Para tanto, admitiu-se que os capitalistas são capazes de saber se a taxa de lucro que está obtendo é maior ou menor do que a taxa de lucro média da economia como um todo. Supôs-se, também, que cada um deles

mantém metas de estoque mínimo e máximo, as quais limitam o ajustamento das quantidades a serem produzidas, o que é feito com base na taxa de lucro relativa.

Todas as firmas do sistema econômico artificial têm uma capacidade máxima de produção por período; para as firmas dos setores produtores de “r”, “g” e “b”, elas foram fixadas, respectivamente, em 10, 15 e 38 unidades de produto por período de produção. Os estoques mínimos e máximos para as firmas desses setores foram estabelecidos, respectivamente, em 13 e 20, 20 e 28, 50 e 100 unidades de produto “r”, “g” e “b”, respectivamente. Denominando de Q a quantidade produzida, pode-se escrever as equações a diferenças finitas que regem a fixação das quantidades nesses limites e no interior desses limites:

$$\text{Limite inferior: } Q_i(t+1) = Q_i(t) + U \wedge (0; f_i),$$

$$\text{No interior: } Q_i(t+1) = Q_i(t) + \beta * g_i * [r_i(t) - \bar{r}(t)]$$

$$\text{Limite superior: } Q_i(t+1) = Q_i(t) - U \wedge (0; f_i)$$

Nessas equações, os parâmetros f e g foram escolhidos de modo específico para cada setor visando balancear o impacto das diferenças nas taxas de lucro em relação à quantidade produzida em condições normais pelas empresas que aí produzem mercadorias.

Após terem produzido e vendido, ao final do período de produção as empresas atualizam os preços para o período seguinte, seguindo regras de oferta e demanda: a) se a quantidade produzida for maior do que a quantidade vendida, elas abaixam o preço desde que esse preço não seja inferior ou igual ao preço de reserva mínimo; quando isto acontece, elas fixam o preço no preço mínimo; b) se a quantidade produzida for menor do que a quantidade vendida, elas sobem o preço desde que esse preço não seja superior ou igual ao preço de reserva; no último caso, ela mantém o preço no preço máximo. Chamando pela mesma letra S a quantidade vendida em cada caso, as equações a diferenças finitas regedoras da formação dos preços são as seguintes:

$$\text{No preço mínimo: } p_i(t+1) = pc_i + d$$

$$\text{No interior: } p_i(t+1) = p_i(t) + \lambda_i * [S_i(t) - Q_i(t)]$$

$$\text{No preço máximo: } p_i(t+1) = pc_i - d$$

Alguns Resultados

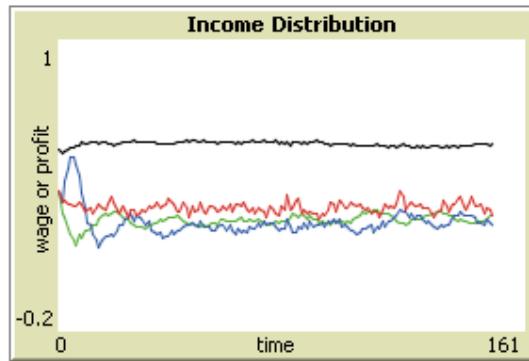
Este tipo de modelo exige que sejam feitos inúmeros exercícios de simulação – mas é praticamente impossível apresentar um conjunto muito extenso deles. Ademais, ele suscita – e mesmo exige – que sejam feitos inúmeros experimentos para testar hipóteses quando aos efeitos de certas mudanças as quais podem ser imaginadas e, assim, provocadas pelo analista. Por exemplo, o programa permite que o estudioso modifique externamente a dimensão do consumo autônomo dos capitalistas e isto tem evidentes impactos nos níveis de emprego e de produto da economia artificial, assim como nos níveis dos salários e das taxas de lucro.

De qualquer modo alguma coisa dessa enorme gama de possibilidades precisa ser apresentada aqui. Como o modelo contém fatores aleatórios – ou melhor, quase-aleatórios – e como a dinâmica é sensível às pequenas variações, cada rodada apresenta resultados diferentes. Entretanto, certos padrões que devem da própria estrutura do modelo podem ser sempre observados.

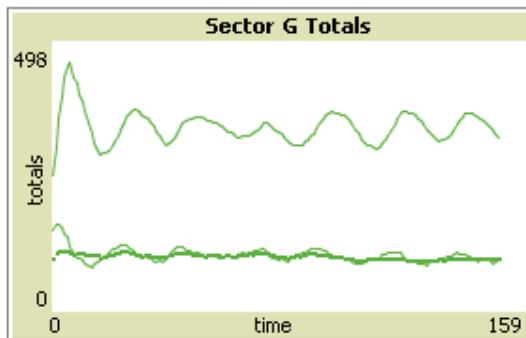
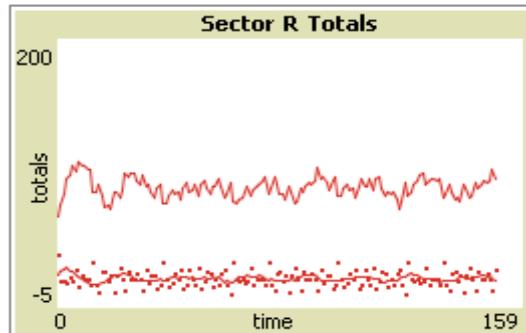
O gráfico que se segue apresenta o emprego total da economia (linha preta), assim como os níveis de emprego em cada um dos setores ao longo do tempo (linha vermelha, verde e azul). Como era de se esperar os níveis de emprego apresentam trajetórias serrilhadas flutuando às vezes divergentemente entre si e em relação ao total.

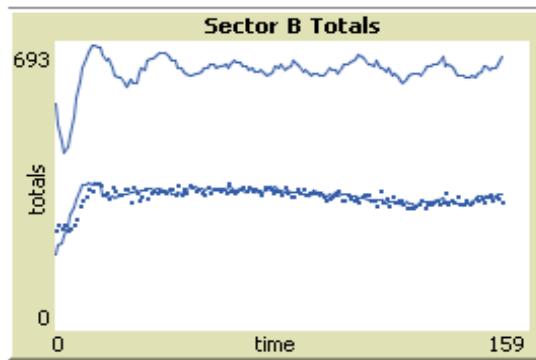


O próximo gráfico apresenta, a evolução das trajetórias do salário médio (linha preta) e das taxas de lucro setoriais (linha vermelha, azul e verde). Observa-se, primeiro, certa tendência à igualação das taxas de lucro e, segundo, uma flutuação em sentido inverso do nível médio de salário e das taxas de lucro setoriais.



Nos gráficos que se seguem são apresentados certos resultados globais para os três setores, a saber, o nível geral dos estoques de mercadorias acabadas, a quantidade produzida e quantidade vendida período a período. Note-se, em todos eles, que os estoques crescem quando a quantidade vendida é menor do que a produzida e decrescem quando ocorre o contrário: isto, entretanto, não é claramente visível no setor produtor de “r” por causa da forte desconexão entre produção e venda aí observada.





Todos os resultados são de certo modo esperados. Entretanto, como o modelo computacional permite apresentá-los em conjunto e de um modo sistemático, isto tem valor científico substantivo. E não só propedêutico ou mesmo didático, mas conceitual. Ele chama a atenção para o caráter algo instável, mas ainda assim auto-organizador, do sistema econômico do capital que, como se sabe, opera por impulsos de acumulação descentralizados. Pode-se notar visualmente algo que tem grande interesse teórico: as flutuações econômicas decorrem de acumulações excessivas, as quais se manifestam sempre como excedente de estoques efetivos em relação aos estoques planejados, como desproporções setoriais e como oscilações das taxas de lucro. No modelo apresentado o “lado” monetário da economia está pouco desenvolvido e isto significa que a produção não é afetada pela taxa de juros e pelo volume de crédito disponível. Quando esse “lado” for acrescentado em outros modelos, poderá-se mostrar visualmente a manifestação mais importante das crises na economia capitalista, qual seja, o entesouramento do dinheiro (o que é também chamado, como se adviesse meramente de estados da mente dos capitalistas, de preferência pela liquidez, na teoria econômica keynesiana e pós-keynesiana).

Referências Bibliográficas

- Epstein, Joshua M. e Axtell, Robert – *Growing Artificial Societies – Social Science from the Bottom Up*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1996.
- Fausto, Ruy – *Marx: Lógica e Política*. São Paulo: Editora Brasiliense, 1983.
- Grespan, Jorge – Marx, Crítico da Teoria Clássica do Valor. In: *Crítica Marxista*, nº 12, 2001, p. 59-76.
- Hahn, Frank – The Neo-Ricardians. In: *Cambridge Journal of Economics*, 1982, vol. 6 (4), p. 353-374.
- Wilensky, Uri – 2007. *NetLogo: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling*. Northwestern University at Evanston: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.
- Prado, Eleuterio F. S. – Microeconomia Reducionista e Microeconomia Sistêmica. In: *Nova Economia*, vol. 16(2), maio de 2006, p. 303-322.
- Ricardo, David – *Princípios de Economia Política e Tributação*. Coleção Os Economistas. São Paulo: Abril Cultural, 1982.
- Sraffa, Piero – *Produção de Mercadorias por Meio de Mercadorias*. Coleção Os Economistas: Kalecki, Sraffa, Robinson. São Paulo: Abril Cultural, 1983.
- Tesfatsion, Leigh – Agent-Based Computational Economics: a Construction Approach to Economic Theory. In: *Handbook of Computational Economics* – volume 2. Ed.: Leigh Tesfatsion e Kenneth L. Judd. North-Holland, 2006, p. 831-877.