ELSEVIER

INTRODUÇÃO À TEORIA DO CRESCIMENTO ECONÔMICO

Charles I. Jones
Stanford University

CAMPUS

5 O MOTOR DO CRESCIMENTO

> No que se refere às artes do Deleite e do Ornamento, elas são mais bem promovidas pelo maior número de competidores. E é mais provável que se encontre um homem habilidoso entre 4 milhões do que entre 400 pessoas...
>
> – WILLIAM PETTY, *Another Essay in Political Arithmetric*, 1682 (citado por Simon, 1981, p. 158)

O modelo neoclássico de crescimento destaca o progresso tecnológico como motor do crescimento econômico, e o capítulo anterior apresentou, de modo geral, a economia das idéias e da tecnologia. Neste capítulo, incorporaremos percepções de capítulos anteriores para desenvolver uma teoria explícita do progresso tecnológico. Esse modelo nos permitirá explorar o mecanismo do crescimento econômico, tratando assim da segunda questão principal formulada no início do livro. Desejamos entender por que as economias avançadas do mundo, como os Estados Unidos, cresceram algo em torno de 2% ao ano durante o último século. De onde vem o progresso tecnológico que pavimenta esse crescimento? Por que a taxa é de 2% e não de 1% ou de 10%? Podemos esperar a continuação dessa tendência, ou há um limite para o crescimento econômico?

Boa parte do trabalho dos economistas que trataram dessa questão é chamada de *teoria do crescimento endógeno* ou de *nova teoria do crescimento*. Em vez de supor que o crescimento se dá em decorrência de melhorias tecnológicas automáticas e não-modeladas (exógenas), a teoria busca entender as forças econômicas que estão por trás do progresso tecnológico. Uma contribuição importante a esse trabalho é o reconhecimento de que o progresso tecnológico ocorre quando empresas ou inventores maximizadores de lucro procuram obter novas e melhores ratoeiras. Adam Smith disse que "não é da benevolência do açougueiro, do cervejeiro ou do padeiro que esperamos nosso jantar, mas de sua busca de seus próprios interesses" (Smith, 1776 [1981], pp. 26-7). Da mesma forma, é a possibilidade de auferir lucro que leva as empresas a desenvolverem um computador que cabe na palma da mão, um refrigerante com apenas uma caloria, ou uma forma de permitir que programas de tevê ou filmes sejam passados na tevê de acordo com sua conveniência. Desse modo, melhorias tecnológicas e o próprio processo de crescimento são entendidos como um resultado endógeno da economia.

A teoria específica que apresentaremos neste capítulo foi construída por Paul Romer em uma série de artigos que inclui um publicado em 1990 e intitulado "Endogeneous Technological Change".[1]

5.1 OS ELEMENTOS BÁSICOS DO MODELO

O modelo de Romer torna endógeno o progresso tecnológico ao introduzir a busca de novas idéias por pesquisadores interessados em lucrar a partir de suas invenções. A estrutura de mercado e os incentivos econômicos que estão no centro desse processo serão vistos pormenorizadamente na Seção 5.2. Primeiro iremos apresentar os elementos básicos do modelo e suas implicações para o crescimento econômico.

O modelo visa a explicar por que e como os países avançados exibem um crescimento sustentado. Ao contrário dos modelos neoclássicos dos primeiros capítulos, que poderiam ser aplicados a diferentes países, esse modelo descreve os países avançados do mundo como um todo. O progresso tecnológico é movido pela pesquisa e desenvolvimento (P&D) no mundo avançado. No próximo capítulo vamos analisar o importante processo de transferência de tecnologia e veremos por que diferentes economias têm diferentes níveis de tecnologia. Por enquanto, iremos nos preocupar com a maneira como a fronteira tecnológica é levada continuamente à frente.

Como foi o caso com o modelo de Solow, há dois elementos principais no modelo de Romer de mudança tecnológica endógena: uma equação que descreve a função de produção e um conjunto de equações que descrevem a evolução dos insumos da função de produção ao longo do tempo. As principais equações são semelhantes às do modelo de Solow, com uma diferença importante.

[1] A versão do modelo de Romer que apresentaremos nesse capítulo está baseada em Jones (1995a). Há uma diferença fundamental entre os dois modelos, que será tratada no momento adequado. Outras contribuições notáveis à literatura relativa aos modelos de crescimento embasado em P&D incluem Grossman e Helpman (1991) e Aghion e Howitt (1992). Esses modelos são, às vezes, chamados de modelos schumpeterianos de crescimento, pois foram antecipados pelo trabalho de Joseph Schumpeter em fins dos anos 1930 e início dos anos 1940.

A função de produção agregada do modelo de Romer descreve como o estoque de capital, K, e o trabalho, L_Y, se combinam para gerar o produto, Y, usando o estoque de idéias, A:

$$Y = K^{\alpha}(AL_y)^{1-\alpha}, \tag{5.1}$$

onde α é um parâmetro com valor entre 0 e 1. Por enquanto, vamos considerar essa função de produção como dada; na Seção 5.2, veremos como a estrutura de mercado e os microfundamentos da economia afetam essa função agregada.

Dado o nível de tecnologia, A, a função de produção da equação (5.1) apresenta retornos constantes à escala para K e L_Y. Contudo, quando admitimos que as idéias (A) também são um insumo da produção, a função apresenta retornos crescentes. Por exemplo, uma vez que Steve Jobs e Steve Wozniak inventaram o projeto do microcomputador, esse projeto (a "idéia") não mais precisou ser inventado. Para dobrar a produção de microcomputadores, Jobs e Wozniak só precisavam dobrar o número de circuitos integrados, semicondutores etc. e conseguir uma garagem maior. Isto é, a função de produção apresenta retornos constantes à escala em relação aos insumos de capital e trabalho, e portanto tem que apresentar retornos crescentes em relação aos três insumos: se você duplicar o capital, o trabalho *e* o estoque de idéias, então você obterá mais do que o dobro de produtos. Como vimos no Capítulo 4, a presença de retornos crescentes à escala decorre fundamentalmente da natureza não-rival das idéias.

As equações de acumulação do capital e do trabalho são idênticas àquelas do modelo de Solow. O capital se acumula na medida em que as pessoas abrem mão do consumo a uma dada taxa, s_K, e se deprecia à taxa exógena, d:

$$\dot{K} = s_K Y - dK.$$

A mão-de-obra, que é equivalente à população, cresce exponencialmente a uma taxa exógena e constante n:

$$\frac{\dot{L}}{L} = n.$$

A equação-chave que é nova em relação ao modelo neoclássico é aquela que descreve o progresso tecnológico. No modelo neoclássico, o termo de produtividade, A, cresce de maneira exógena a uma taxa constante. No modelo de Romer, o crescimento de A foi tornado endógeno. Como isto é feito? De acordo com o modelo de Romer, $A(t)$ é o estoque de conhecimento ou o número de idéias que foram inventadas ao longo da história até o momento t. Então, $\dot{A}$ é o número de novas idéias geradas em qualquer ponto do tempo.

Na versão mais simples do modelo, $\dot{A}$ é igual ao número de pessoas que tentam descobrir novas idéias, L_A, multiplicado pela taxa à qual elas descobrem novas idéias, $\bar{\delta}$:

Taxa de descoberta de novas idéias

$$\dot{A} = \bar{\delta} L_A \tag{5.2}$$

número de pessoas que tentam descobrir novas idéias

A mão-de-obra está dedicada a gerar idéias ou produto, de modo que a economia enfrenta a seguinte restrição de recursos:

$$L_A + L_Y = L.$$

A taxa à qual os pesquisadores geram novas idéias pode ser simplesmente uma constante. Por outro lado, poder-se-ia imaginar que ela dependa das idéias que já foram geradas. Talvez as idéias geradas no passado aumentem a produtividade dos pesquisadores no presente. Nesse caso, $\bar{\delta}$ seria uma função crescente de A. A descoberta do cálculo, a invenção do laser e o desenvolvimento de circuitos integrados são exemplos de idéias que aumentaram a produtividade da pesquisa posterior. Por outro lado, talvez as idéias mais óbvias sejam descobertas primeiro e as idéias subseqüentes sejam cada vez mais difíceis de gerar. Nesse caso, $\bar{\delta}$ seria uma função decrescente de A.

Esse raciocínio sugere que a taxa de geração de novas idéias seja modelada como

$$\bar{\delta} = \delta A^{\phi}, \tag{5.3}$$

onde δ e ϕ são constantes. Nesta equação, $\phi > 0$ indica que a produtividade da pesquisa aumenta com o número de idéias já geradas; $\phi < 0$ corresponde ao caso em que a "pesca" se torna cada vez mais difícil no decorrer do tempo. Finalmente, $\phi = 0$ indica que a tendência a que as idéias mais óbvias sejam descobertas primeiro compensa exatamente o fato de que as idéias antigas possam facilitar a geração de novas idéias – isto é, a produtividade da pesquisa independe do estoque de conhecimento.

Também é possível que a produtividade média da pesquisa seja dependente do número de pesquisadores em qualquer ponto do tempo. Por exemplo, talvez a duplicação do esforço seja mais provável quando há mais pessoas envolvidas na pesquisa. Uma maneira de modelar essa possibilidade é supor que ela é de fato L_A^{λ}, onde λ é um parâmetro com valor entre 0 e 1, que entra na função de produção de novas idéias no lugar de L_A. Isto, junto com as equações (5.3) e (5.2), sugere a seguinte função de produção geral para as idéias:

$$\dot{A} = \delta L_A^{\lambda} A^{\phi}, \tag{5.4}$$

Por razões que mais tarde ficarão claras, vamos supor que $\phi < 1$.

As equações (5.2) e (5.4) ilustram um aspecto muito importante da modelagem do crescimento econômico.[2] Os pesquisadores individuais, sendo uma pequena fração da economia como um todo, consideram $\bar{\delta}$ como dado e consideram os retornos da pesquisa como constantes. Como na equação (5.2), uma pessoa envolvida na pesquisa cria $\bar{\delta}$ novas idéias. Contudo, na economia como um todo, a função de produção de idéias não se caracteriza por retornos constantes à escala. Embora $\bar{\delta}$ tenha uma variação minúscula em resposta às atividades de um único pesquisador, ele claramente varia com o esforço agregado de pesquisa.[3] Por exemplo, $\lambda < 1$ pode refletir uma externalidade associada à duplicação: algumas das idéias criadas por um pesquisador individual podem não ser novas para a economia como um todo. Esta é uma questão análoga ao congestionamento nas rodovias. Cada motorista ignora o fato de que a sua presença dificulta um pouco a chegada dos outros motoristas ao ponto ao qual se dirigem. O efeito de um único motorista é negligenciável, mas o somatório de todos os motoristas pode ser importante.

Da mesma forma, a presença de A^{ϕ} é tratada como externa ao agente individual. Considere o caso de $\phi > 0$, refletindo um transbordamento positivo na pesquisa. Os ganhos para a sociedade da lei da gravidade superaram em muito os benefícios que Isaac Newton conseguiu captar. Grande parte do conhecimento criado por ele "transbordou" para pesquisadores que lhe sucederam. Naturalmente, o próprio Newton se beneficiou do conhecimento gerado por cientistas anteriores com Kepler, como ele mesmo reconheceu na famosa afirmação "Se cheguei mais longe do que outros, foi porque estava sobre os ombros de gigantes." Com isso em mente, podemos nos referir às externalidades associadas a $\phi > 0$ como "efeito de subir sobre os ombros" e, por extensão, às externalidades associadas a $\lambda < 1$ como o efeito de "pisar nos pés".

5.1.1 Crescimento no modelo de Romer

Qual é, nesse modelo, a taxa de crescimento ao longo de uma trajetória de crescimento equilibrado? Dado que uma fração constante da população esteja empregada na geração de idéias (o que mais adiante veremos ser o caso), o modelo segue os passos da versão neoclássica ao atribuir ao progresso tecnológico todo o crescimento *per capita*. Representando as variáveis *per capita* por letras minúsculas, e denotando por g_x a taxa de crescimento de qualquer variável *per capita* x ao longo da trajetória de crescimento equilibrado é fácil mostrar que

$$g_y = g_k = g_A.$$

[2] Essa técnica de modelagem será vista novamente no Capítulo 8, no contexto dos modelos de crescimento "AK".

[3] Observe que a expressão exata de $\bar{\delta}$, incorporando tanto duplicação quanto transbordamentos de conhecimento, é $\bar{\delta} = \delta L_A^{\lambda-1} A^{\phi}$.

Isto é, o produto *per capita*, a razão capital / trabalho e o estoque de idéias crescerão à mesma taxa ao longo da trajetória de crescimento equilibrado.[4] Se não houver progresso tecnológico no modelo, então não há crescimento.

Portanto, a questão importante é "Qual é a taxa de progresso tecnológico ao longo da trajetória de crescimento equilibrado?" A resposta a essa indagação é encontrada se reescrevermos a função de produção de idéias, a equação (5.4). Dividindo ambos os membros da equação por A obtemos

$$\frac{\dot{A}}{A} = \delta \frac{L_A{}^{\lambda}}{A^{1-\phi}}. \tag{5.5}$$

Ao longo de uma trajetória de crescimento equilibrado, $\frac{\dot{A}}{A} \equiv g_A$ é constante. Mas essa taxa de crescimento será constante se, e apenas se, o numerador e o denominador do lado direito da equação (5.5) crescerem à mesma taxa. Tirando o logaritmo e derivando ambos os membros da equação,

$$0 = \lambda \frac{\dot{L}_A}{L_A} - (1-\phi)\frac{\dot{A}}{A}. \tag{5.6}$$

Ao longo da trajetória de crescimento equilibrado, a taxa de crescimento do número de pesquisadores deve ser igual à taxa de crescimento da população – se for maior, o número de pesquisadores acabará por superar o número de habitantes, o que é impossível. Isto é, $\dot{L}_A / L_A = n$. Substituindo essa expressão em (5.6) obtemos

$$g_A = \frac{\lambda n}{1-\phi}. \tag{5.7}$$

Assim, a taxa de crescimento dessa economia é determinada pelos parâmetros da função de produção de idéias e pela taxa de crescimento de pesquisadores que, em última instância, é dada pela taxa de crescimento da população.

Vários aspectos desta equação merecem comentários. Primeiro, o que essa equação diz à nossa intuição? Isto será visto mais facilmente se pensarmos em um caso especial em que $\lambda = 1$ e $\phi = 0$, de modo que a produtividade dos pesquisadores seja a constante δ. Nesse caso, não há problema de dupli-

---

[4] Para ver isto, siga os passos seguidos na derivação da equação (2.10) no Capítulo 2. Intuitivamente, a razão capital / produto deve ser constante ao longo da trajetória de crescimento equilibrado. Reconhecido esse fato, a função de produção implica que y e k devem crescer à mesma taxa que A.

cação na pesquisa e a produtividade de um pesquisador hoje será independente do estoque de idéias geradas no passado. A função de produção de idéias aparecerá como

$$\dot{A} = \delta L_A.$$

Imagine agora que o número de pessoas envolvidas na pesquisa seja constante. Como δ também é constante, esta economia gera um número constante de novas idéias, δL_A, a cada período. Para sermos mais concretos, imaginemos que $\delta L_A = 100$. A economia começa com um estoque de idéias, A_0, gerado em períodos anteriores. Inicialmente, as 100 novas idéias por período podem ser uma fração grande do estoque existente, A_0. Com o correr do tempo, contudo, o estoque cresce e as 100 idéias se tornam uma fração cada vez menor do estoque existente. Portanto, a *taxa de crescimento* do estoque de idéias cai ao longo do tempo, acabando por se aproximar de zero. Observe, contudo, que o progresso tecnológico nunca pára. A economia está sempre criando 100 novas idéias. O que ocorre, simplesmente, é que essas 100 novas idéias parecem cada vez menores em comparação com o estoque de idéias que se acumula.

A fim de gerar crescimento, o número de novas idéias deve crescer ao longo do tempo. Isto ocorre se o número de pesquisadores aumentar – em decorrência, por exemplo, do crescimento da população mundial. Mais pesquisadores significam mais idéias sustentando o crescimento no modelo. Nesse caso, o crescimento das idéias está claramente relacionado com o crescimento da população, o que explica a presença de crescimento populacional na equação (5.7).

É interessante comparar esse resultado com o efeito do crescimento populacional no modelo neoclássico de crescimento. Neste, por exemplo, uma taxa maior de crescimento populacional reduz o nível de renda ao longo de uma trajetória de crescimento equilibrado. Mais pessoas implicam uma necessidade de mais capital para manter K/L constante, mas o capital apresenta retornos decrescentes. No modelo de Romer, existe um importante efeito adicional. As pessoas são o insumo-chave para o processo criativo. Uma população maior gera mais idéias, e como as idéias são não-rivais, todos na economia se beneficiam.

Que evidência pode ser apresentada para sustentar a afirmação de que a taxa de crescimento *per capita* da economia mundial depende do crescimento populacional? Primeiro, observe que essa implicação do modelo é muito difícil de ser testada. Já indicamos que esse modelo do motor do crescimento descreve os países avançados como um todo. Assim, não é possível usar dados relativos ao crescimento da população *entre* países para testar o modelo. De fato, já apresentamos uma das evidências mais convincentes no Capítulo 4. Lembre-se da representação gráfica das taxas de crescimento da população mundial nos últimos dos mil anos, na Figura 4.4. O crescimento sustentado e rápido da população é um fenômeno bastante recente, tal como o crescimento rápido e sustentado do produto *per capita*. Aumentos na taxa de crescimento populacional para além dos níveis muito baixos observados ao longo de quase toda a história acompanham, de modo aproximado, a Revolução Industrial.

A conclusão de que a taxa de crescimento da economia está ligada à taxa de crescimento da população implica outra conclusão aparentemente forte: se a população (ou pelo menos o número de pesquisadores) parar de crescer, o crescimento de longo prazo se interrompe. O que significa isto? Reformulando um pouco a pergunta, se o esforço de pesquisa mundial fosse constante ao longo do tempo, o crescimento econômico acabaria por parar? Esse modelo sugere que sim. Um esforço de pesquisa constante não permite o aumento proporcional do estoque de idéias que se faz necessário para gerar crescimento de longo prazo.

Na verdade, há um caso especial em que um esforço de pesquisa constante pode sustentar o crescimento de longo prazo, e isso nos leva ao segundo comentário sobre o modelo. A função de produção de idéias considerada no artigo original de Romer (1990) supõe que $\lambda = 1$ e $\phi = 1$. Isto é,

$$\dot{A} = \delta L_A A.$$

Reescrevendo a equação, podemos ver que essa versão do modelo de Romer gerará crescimento sustentado na presença de um esforço de pesquisa constante:

$$\frac{\dot{A}}{A} = \delta L_A. \qquad (5.8)$$

Nesse caso, Romer supõe que a produtividade da pesquisa é proporcional ao estoque existente de idéias: $\bar{\delta} = \delta A$. Com essa hipótese, a produtividade dos pesquisadores cresce com o correr do tempo, mesmo se o número de pesquisadores for constante.

Contudo, a vantagem dessa especificação é também o seu defeito. O esforço mundial de pesquisa aumentou imensamente nos últimos quarenta anos e mesmo durante o último século (para recordar esse fato, veja a Figura 4.6). Uma vez que L_A cresce rapidamente ao longo do tempo, a formulação original de Romer na equação (5.8) sugere que a taxa de crescimento das economias avançadas deveria ter, também, crescido rapidamente nos últimos quarenta ou cem anos. Sabemos que isso está longe de ser verdade. A taxa média de crescimento da economia dos EUA, por exemplo, ficou bem próxima de 1,8% ao ano nos últimos cem anos. Pode-se evitar essa decorrência facilmente rejeitada da formulação original de Romer fazendo ϕ menor que um, o que nos leva de volta aos resultados associados à equação (5.7).[5]

---

[5] Este ponto está registrado em Jones (1995a).

Observe que nada nesse raciocínio exclui a existência de retornos crescentes para a pesquisa ou transbordamentos positivos de conhecimento. O parâmetro de transbordamento de conhecimentos, ϕ, pode ser positivo e bastante elevado. O que o raciocínio sugere é que o caso algo arbitrário de $\phi = 1$ é fortemente rejeitado pela observação empírica.[6]

O último comentário relativo às implicações de crescimento para esse modelo de tecnologia é que os resultados são semelhantes aos do modelo neoclássico em um aspecto muito importante. No modelo neoclássico, as mudança nas políticas do governo e as mudanças na taxa de investimento não têm impactos de longo prazo sobre o crescimento econômico. Isto não surpreende, uma vez que tenhamos reconhecido que todo o crescimento no modelo neoclássico decorre de progresso tecnológico exógeno. No presente modelo, com progresso tecnológico endógeno, contudo, chegamos ao mesmo resultado. A taxa de crescimento de longo prazo não é afetada por alterações na taxa de investimento, e nem mesmo por mudanças na participação da população envolvida na pesquisa. Isto se vê quando se observa que nenhum dos parâmetros da equação (5.7) é afetado quando, digamos, a taxa de investimento ou participação de mão-de-obra em P&D muda. Em vez disso, estas políticas afetam a taxa de crescimento ao longo da trajetória de transição para o novo estado estacionário ao alterar o *nível* da renda. Isto é, mesmo depois que tornamos endógena a tecnologia, a taxa de crescimento de longo prazo não pode ser manipulada por formuladores de políticas públicas por meio de instrumentos convencionais como os subsídios à P&D.

5.1.2 Efeitos de crescimento *versus* efeitos de nível

O fato de que as políticas econômicas padrões não possam afetar o crescimento no longo prazo *não* é uma característica do modelo original de Romer nem de muitos outros modelos embasados em idéias que se lhe seguiram, incluindo Grossman e Helpman (1991) e Aghion e Howitt (1992). Muito do trabalho teórico relativo à nova teoria do crescimento procurou desenvolver modelos nos quais as mudanças nas políticas *possam* afetar o crescimento de longo prazo.

Os modelos embasados em idéias nos quais as mudanças nas políticas possam aumentar a taxa de crescimento da economia repousam na hipótese de que $\phi < 1$, ou seu equivalente. Como mostrado anteriormente, essa suposição gera a previsão contrafatual de que as taxas de crescimento, com uma população crescente, deveriam acelerar-se ao longo do tempo. Jones (1995a) generalizou esses modelos para o caso de $\phi < 1$ para eliminar esse defeito, e mostraram a implicação algo surpreendente de que isso também elimina os impactos da política sobre o crescimento de longo prazo. Veremos isso em mais detalhes no Capítulo 8.

---

[6] A mesma evidência também exclui valores de $\phi > 1$. Tais valores provocariam taxas de crescimento aceleradas mesmo com uma população constante!

5.1.3 Estática comparativa: Um aumento permanente na participação de P&D

O que acontece nas economias avançadas se a parcela da população envolvida na busca de novas idéias aumenta permanentemente? Por exemplo, imagine um subsídio para P&D que aumente a fração da força de trabalho que se dedica à pesquisa.

Um aspecto importante do modelo que acabamos de apresentar é que muitas mudanças de política (ou estática comparativa) podem ser analisadas com as técnicas já vistas. Por quê? Observe que, no modelo, o progresso técnico pode ser analisado isoladamente – ele não depende do capital ou do produto, mas apenas da força de trabalho e da participação da população dedicada à pesquisa. Uma vez que a taxa de crescimento de A é constante, o modelo se comporta tal como o modelo de Solow com o progresso tecnológico exógeno. Portanto, nossa análise procede em duas etapas. Primeira, consideramos o que acontece com o progresso tecnológico e com o estoque de capital após o aumento na intensidade da P&D. Segunda, analisamos o modelo como fizemos com o modelo de Solow, seguindo os passos vistos no Capítulo 2. Antes de continuar, vale notar que a análise das mudanças que não afetam a tecnologia, como um aumento na taxa de investimento, é exatamente igual à análise do modelo de Solow.

Pense agora no que acontece se a proporção da população envolvida com a pesquisa aumenta de maneira permanente. Para simplificar um pouco, vamos supor que, novamente, $\lambda = 1$ e $\phi = 0$; nenhum dos resultados é afetado qualitativamente por essa hipótese. É útil reescrever a equação (5.5) como

$$\frac{\dot{A}}{A} = \delta \frac{s_R L}{A}, \tag{5.9}$$

onde s_R é a parcela da população dedicada a P&D – isto é, $L_A = s_R L$.

A Figura 5.1 mostra o que ocorre ao progresso tecnológico quando s_R aumenta permanentemente para s_R', supondo que no início a economia se encontra no estado estacionário. Nesse estado, a economia cresce ao longo de uma trajetória de crescimento equilibrado à taxa de progresso tecnológico, g_A, que, de acordo com nossas hipóteses simplificadoras, é igual à taxa de crescimento populacional. A razão L_A/A é, portanto, igual a g_A/δ. Imagine que no momento $t = 0$ ocorra um aumento em s_R. Com uma população de L_0, o número de pesquisadores aumenta com o aumento de s_R, de modo que a razão L_A/A passa para um patamar mais elevado. Os pesquisadores adicionais geram um aumento no número de novas idéias, e assim a taxa de crescimento da tecnologia também cresce nesse ponto. No gráfico, essa situação é mostrada pelo ponto "X". Em X, o progresso tecnológico $\dot{A}/A$ supera o crescimento populacional, n, de modo que, com o tempo, a razão L_A/A diminui, como indicam as setas. À medida que a razão declina, a taxa de mudança tecnológica também cai gradualmente, até que a economia retorna à sua trajetória de crescimento equilibrado onde $g_A = n$. Portanto, um aumento permanente na proporção da população dedicada à pesquisa aumenta temporariamente a taxa de progresso tecnológico, mas não o faz no longo prazo. Isso é mostrado na Figura 5.2.

FIGURA 5.1 PROGRESSO TECNOLÓGICO: UM AUMENTO NA PARTICIPAÇÃO DE P&D.

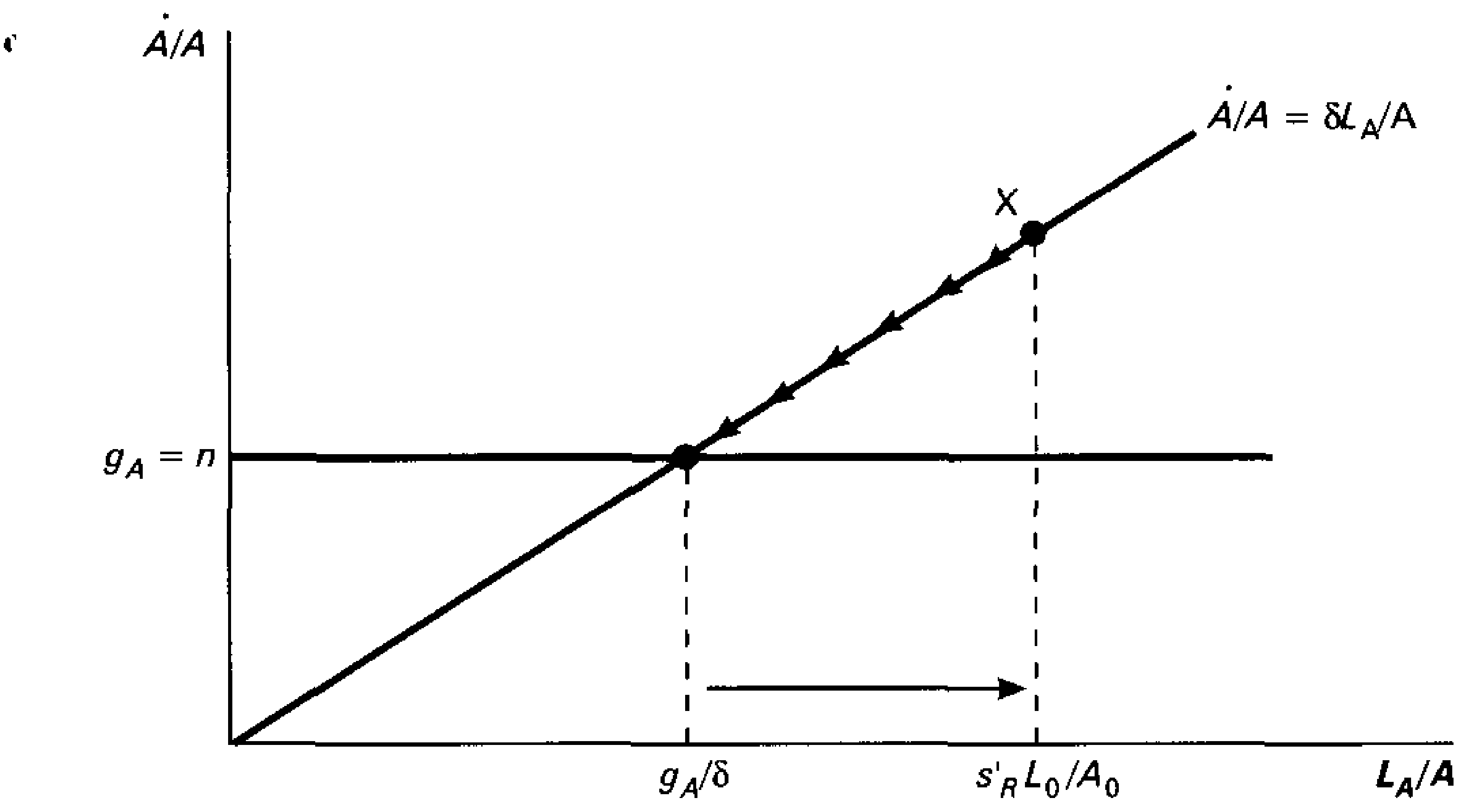
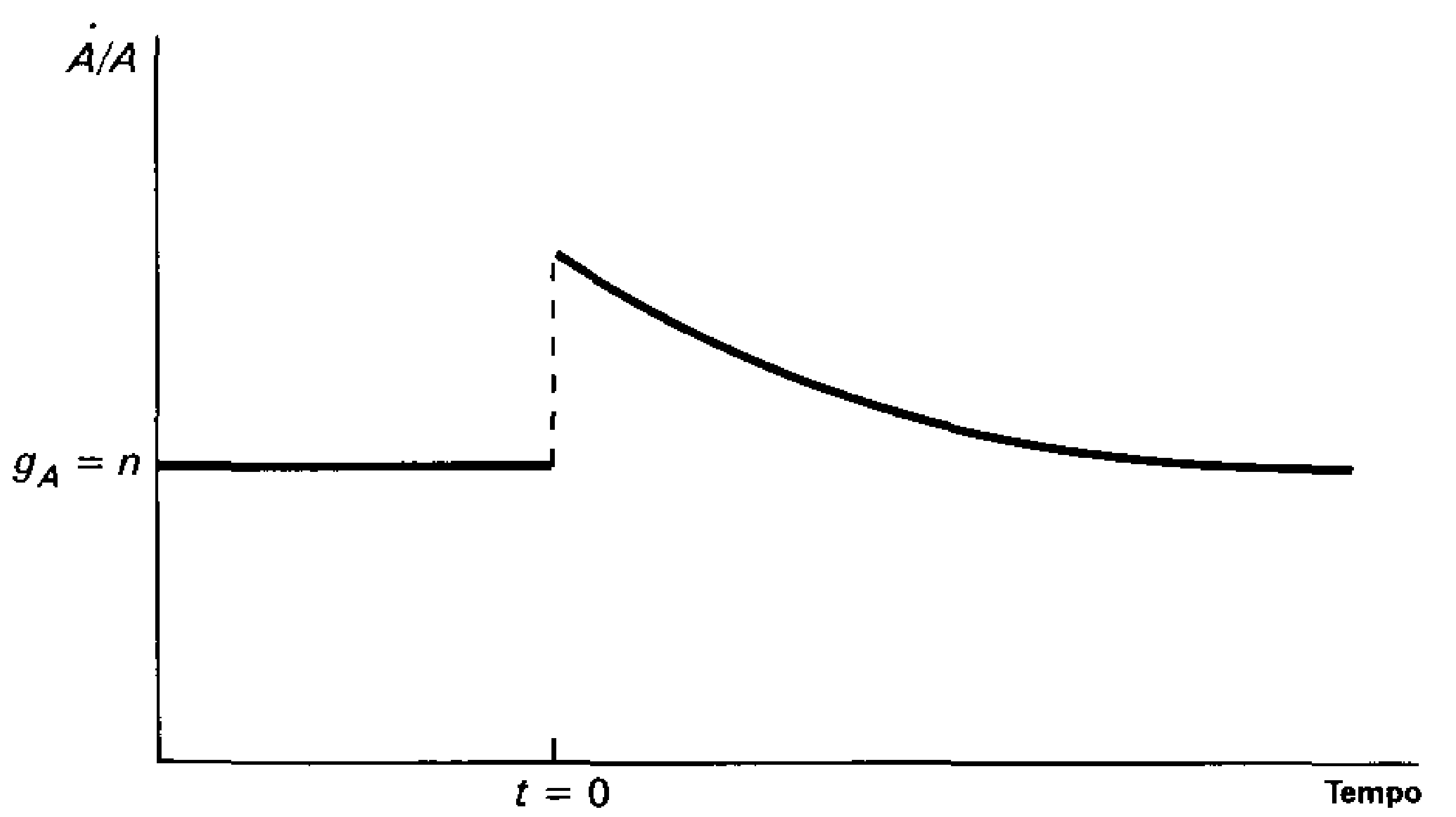


FIGURA 5.2 MOVIMENTO DE $\dot{A}/A$ NO TEMPO.

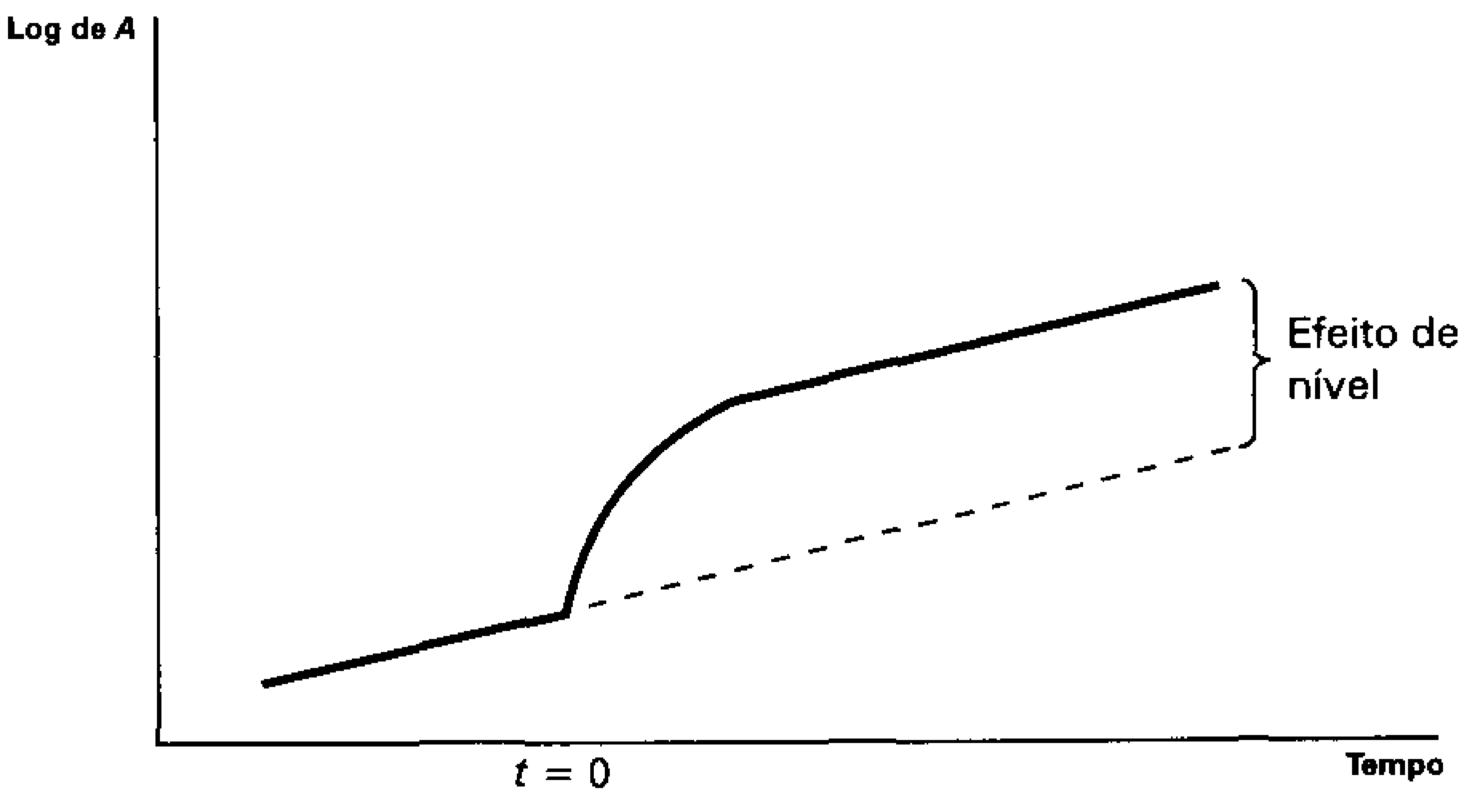


O que acontece nessa economia com o nível de tecnologia? A Figura 5.3 responde à pergunta. O nível de tecnologia cresce ao longo da trajetória de crescimento equilibrado à taxa g_A até o momento $t = 0$. Neste ponto a taxa de crescimento aumenta e o nível de tecnologia se eleva mais rápido do que anteriormente. Contudo, no correr do tempo, a taxa de crescimento cai até voltar para g_A. O *nível* de tecnologia se situará em um patamar permanentemente mais elevado em conseqüência do aumento permanente da P&D. Observe que um aumento permanente em s_R no modelo de Romer gera uma dinâmica de transição qualitativamente semelhante àquela gerada pela elevação da taxa de investimento no modelo de Solow.

Agora que sabemos o que ocorre com a tecnologia ao longo do tempo, podemos analisar o restante do modelo em um marco analítico de Solow. A taxa de crescimento do modelo no longo prazo é constante, de modo que muito da álgebra utilizada ao analisar o modelo de Solow pode ser empregado agora. Por exemplo, a razão y/A é constante ao longo da trajetória de crescimento equilibrado e é dada por uma equação semelhante à equação (2.13):

$$\left(\frac{y}{A}\right)^* = \left(\frac{s_K}{n + g_A + d}\right)^{\alpha/(1-\alpha)} (1 - s_R). \tag{5.10}$$

FIGURA 5.3 NÍVEL DE TECNOLOGIA AO LONGO DO TEMPO.



A única diferença é a presença do termo $1 - s_R$, que dá conta da diferença entre o produto por trabalhador, L_Y, e o produto *per capita*, L.

Observe que, ao longo da trajetória de crescimento equilibrado, a equação (5.9) pode ser resolvida para o nível de A em termos de força de trabalho:

$$A = \frac{\delta s_R L}{g_A}.$$

Combinando esta equação com (5.10), obtemos

$$y^*(t) = \left(\frac{s_K}{n + g_A + d} \right)^{\alpha/(1-\alpha)} (1 - s_R) \frac{\delta s_R}{g_A} L(t). \tag{5.11}$$

Nessa versão simples do modelo, o produto *per capita* é proporcional à população da economia (mundial) ao longo da trajetória de crescimento equilibrado. Em outras palavras, o modelo apresenta um *efeito de escala* em níveis: uma economia mundial maior será mais rica. Esse efeito de escala decorre, fundamentalmente, da não-rivalidade das idéias: uma economia maior oferece um mercado maior para uma idéia, aumentando o retorno à pesquisa (um efeito de demanda). Além disso, uma economia mundial mais populosa tem, simplesmente, mais criadores de idéias em potencial (um efeito de oferta).

Os outros termos da equação (5.11) são prontamente interpretados. O primeiro termo já é conhecido do modelo original de Solow. Economias que investem mais em capital serão mais ricas, por exemplo. Dois termos envolvem a parcela de mão-de-obra dedicada à pesquisa, s_R. Na primeira vez em que aparece, s_R entra com sinal negativo refletindo o fato de que mais pesquisadores implicam um número menor de trabalhadores na produção. A segunda vez, s_R apresenta sinal positivo para refletir o fato de que mais pesquisadores implicam mais idéias, o que aumenta a produtividade da economia.

5.2 A ECONOMIA DO MODELO

A primeira metade desse capítulo analisou o modelo de Romer sem discutir a economia que está por trás do modelo. Vários economistas desenvolveram, nos anos 1960, modelos com características macroeconômicas semelhantes.[7] Contudo, o desenvolvimento das microfundações de tais modelos teve que esperar até os anos 1980, quando os economistas tinham obtido uma melhor compreensão de como modelar a concorrência imperfeita em um ambiente de equilíbrio geral.[8] De fato, uma das contribuições importantes de Romer (1990) foi a explicação de como construir uma minieconomia de agentes maximizadores de lucro que torne endógeno o progresso tecnológico. A intuição que embasou essa análise foi apresentada no Capítulo 4. A matemática que a representa é o tema do restante dessa seção. Como se trata de um assunto algo complexo, alguns leitores irão preferir passar diretamente para a Seção 5.3.

A economia de Romer é composta por três setores: bens finais, bens intermediários e pesquisa. A razão de dois dos setores são claras: algumas empre-

[7] Ver, por exemplo, Uzawa (1965), Phelps (1966), Shell (1967) e Nordhaus (1969).

[8] Spence (1976), Dixit e Stiglitz (1977) e Ethier (1982) deram passos fundamentais nessa direção.

sas geram produto e outras, idéias. A razão do setor de bens intermediários está relacionada à presença de retornos crescentes mencionados no Capítulo 4. Cada um desses setores será apresentado separadamente. O setor de pesquisa gera idéias novas, que tomam a forma de novos bens de capital – chips de computador, aparelhos de fax ou rotativas. O setor de pesquisa vende o direito exclusivo de produzir um bem de capital específico para uma empresa produtora de bens intermediários. Esta, por sua vez, como monopolista, fabrica o bem de capital e o vende ao setor produtor de bens finais, que gera o produto da economia.

5.2.1 O setor de bens finais

O setor de bens finais da economia de Romer é muito semelhante ao setor de bens finais do modelo de Solow. Compõem-se de um grande número de empresas competitivas que combinam capital e trabalho para gerar um bem homogêneo, o produto, Y. A função de produção é, todavia, especificada de modo um pouco diferente, para refletir o fato de que há mais de um bem de capital no modelo:

$$Y = L_Y^{1-\alpha} \sum_{j=1}^{A} x_j^{\alpha}.$$

O produto, Y, é obtido empregando-se mão-de-obra, L_Y, e vários bens de capital distintos, x_j, que chamaremos também de "bens intermediários". Em qualquer ponto do tempo, A mede a quantidade de bens de capital disponíveis para serem usados pelo setor de bens finais e as empresas desse setor tomarão essa quantidade como um dado. No modelo, as invenções ou idéias correspondem à criação de novos bens de capital que poderão ser utilizados pelo setor de bens finais para gerar produto.

Observe que podemos reescrever a função de produção como

$$Y = L_Y^{1-\alpha}x_1^{\alpha} + L_Y^{1-\alpha}x_2^{\alpha} + \ldots + L_Y^{1-\alpha}x_A^{\alpha},$$

sendo fácil verificar que, para dado A, a função apresenta retornos constantes à escala; duplicando a quantidade de mão-de-obra e a quantidade de capital, obteremos exatamente o dobro do produto.

Por razões técnicas, será mais fácil analisar o modelo se substituirmos o somatório da função de produção por uma integral:

$$Y = L_Y^{1-\alpha} \int_0^A x_j^{\alpha} dj.$$

Então, A mede a gama de bens de capital disponíveis para o setor de bens finais e essa gama é representada como o intervalo da linha real $[0, A]$. A interpretação básica dessa equação, contudo, não é afetada por essa tecnicalidade.

Com retornos constantes à escala, o número de empresas não pode ser determinado com exatidão, de modo que imaginaremos que há um grande número de empresas idênticas que geram o produto final e que a concorrência perfeita prevalece nesse setor. Também normalizaremos o preço do produto final, Y fazendo-o igual à unidade.

As empresas do setor de bens finais precisam decidir quanta mão-de-obra e quanto de cada bem de capital usarão para gerar o produto. Elas o fazem resolvendo o problema da maximização do lucro:

$$\max_{L_Y, x_j} L_Y^{1-\alpha} \int_0^A x_j^{\alpha} dj - wL_Y - \int_0^A p_j x_j dj,$$

onde p_j é o preço de arrendamento do bem de capital j e w é o salário pago à mão-de-obra. As condições de primeira ordem que caracterizam a solução deste problema são

$$w = (1-\alpha)\frac{Y}{L_Y} \tag{5.12}$$

e

$$p_j = \alpha L_Y^{1-\alpha} x_j^{\alpha-1}, \tag{5.13}$$

onde essa segunda condição se aplica a cada bem de capital j. A primeira condição diz que as empresas contratam mão-de-obra até que o seu produto marginal seja igual ao salário. A segunda condição diz a mesma coisa, mas para os bens de capital: as empresas arrendam capital até que o produto marginal de cada tipo de bem de capital seja igual a seu preço de arrendamento, p_j. Para entender intuitivamente essas equações, imagine que o produto marginal de um bem de capital fosse maior que seu preço de arrendamento. A empresa, então, deveria alugar outra unidade – o produto gerado mais do que pagaria o preço de arrendamento. Se o produto marginal fosse inferior ao preço de arrendamento, então a empresa aumentaria seus lucros reduzindo a quantidade de capital utilizado.

5.2.2 O setor de bens intermediários

O setor de bens intermediários é constituído por monopolistas que produzem bens de capital que são vendidos ao setor de produtos finais. Essas empresas adquirem seu poder de monopólio comprando o projeto de um bem de capital específico no setor de pesquisa. Em decorrência da proteção patentária, apenas uma empresa fabrica cada bem de capital.

Uma vez que o projeto de determinado bem de capital foi adquirido (um custo fixo), a empresa do setor de bens intermediários produz o bem de capital com uma função de produção muito simples: uma unidade de capital bruto pode ser imediatamente traduzida em uma unidade do bem de capital. O problema da maximização para a empresa de bens intermediários será então

$$\max_{x_j} \pi_j = p_j(x_j)x_j - rx_j,$$

onde $p_j(x)$ é a função de demanda para o bem de capital dada na equação (5.13). A condição de primeira ordem para este problema será, deixando de lado os subscritos j,

$$p'(x)x + p(x) - r = 0$$

Reescrevendo a equação, obtemos

$$p'(x)\frac{x}{p} + 1 = \frac{r}{p},$$

o que implica que

$$p = \frac{1}{1 = \frac{p'(x)x}{p}} r.$$

Finalmente, a elasticidade, $p'(x)x/p$, pode ser calculada a partir da curva de demanda da equação (5.13). Ela é igual $\alpha - 1$, de modo que a empresa de bens intermediários cobra um preço que é simplesmente uma margem acima do custo marginal, r:

$$p = \frac{1}{\alpha} r.$$

Esta é a solução para cada monopolista, de modo que todos os bens de capital são vendidos ao mesmo preço. Como as funções de demanda na equação (5.13) também são as mesmas, cada bem de capital é empregado na mesma quantidade pelas empresas de bens finais: $x_j = x$. Portanto, cada empresa fabricante de bens de capital obtém o mesmo lucro que as demais. Com um pouco de álgebra, pode-se mostrar que o lucro é dado por

$$\pi = \alpha(1-\alpha)\frac{Y}{A}. \tag{5.14}$$

Finalmente, a demanda total de capital por parte das empresas de bens intermediários deve ser igual ao estoque total de capital da economia:

$$\int_0^A x_j dj = K.$$

Uma vez que os bens de capital são usados, cada um deles, na mesma quantidade, x, pode-se empregar a seguinte equação para determinar x:

$$x = \frac{K}{A}. \tag{5.15}$$

Pode-se reescrever função de produção dos bens finais, usando-se o fato de que $x_j = x$, como

$$Y = AL_Y^{1-\alpha} x^{\alpha},$$

e substituindo-se a partir de (5.15) verifica-se que

$$\begin{aligned} Y &= AL_Y^{1-\alpha} A^{-\alpha} K^{\alpha} \\ &= K^{\alpha} (AL_Y)^{1-\alpha}. \end{aligned} \tag{5.16}$$

Ou seja, vemos que a tecnologia de produção para o setor de bens finais gera a mesma função de produção agregada usada até aqui. Em particular, essa é a função de produção agregada da equação (5.1).

5.2.3 O setor de pesquisas

Boa parte da análise do setor de pesquisa já foi apresentada. Este setor se assemelha essencialmente à mineração de ouro no selvagem Oeste americano de meados do século XIX. Qualquer pessoa está livre para "explorar" em busca de novas idéias, e a recompensa é a descoberta de uma "pepita" que pode ser vendida. As idéias, neste modelo, são projetos de novos bens de capital: um chip de computador mais veloz, um método de alteração genética do milho que o torne mais resistente às pragas, uma nova forma de organizar salas de cinema. Esses projetos podem ser pensados como instruções que explicam como transformar uma unidade de capital bruto em uma unidade de um novo bem de capital. Novos projetos são descobertos de acordo com a equação (5.4).

Quando o novo projeto é concebido, o inventor recebe do governo uma patente que lhe assegura o direito exclusivo de fabricar o novo bem de capital. (Para simplificar, imaginaremos que a patente dura para sempre.) O inventor vende a patente para uma empresa de bens intermediários e usa a receita auferida para consumir e poupar, como qualquer outro agente do modelo. Mas qual é o preço da patente de um novo projeto?

Vamos imaginar que qualquer pessoa pode oferecer um lance pela patente. Quanto o possível adquirente está disposto a pagar? A resposta é: o valor presente descontado dos lucros que seriam auferidos pela empresa de bens intermediários. Se o preço for menor, alguém fará um lance mais alto; se for maior, ninguém estará disposto a fazer um lance. Seja P_A o preço do novo projeto, seu valor presente descontado. Como P_A varia ao longo do tempo? A resposta está em um raciocínio extremamente útil da economia e das finanças, denominado método de *arbitragem*.

O argumento da arbitragem funciona como se segue. Imagine que tenho algum dinheiro para investir em um período. Tenho duas opções. Primeiro, posso pôr o dinheiro no "banco" (nesse modelo seria o equivalente a adquirir uma unidade de capital) e auferir a taxa de juros r. Ou, então, posso adquirir uma patente, auferir os lucros desse período e vender a patente. No equilíbrio, a taxa de retorno das duas opções deve ser a mesma. Se não for, todos escolheriam a alternativa mais rentável, levando seu retorno para baixo. Matematicamente, a *equação da arbitragem* diz que os retornos são iguais:

$$rP_A = \pi + \dot{P}_A. \tag{5.17}$$

O lado direito da equação é a taxa de juros resultante da aplicação de P_A no banco; o lado direito representa os lucros mais o ganho, ou perda, de capital que resulta da variação do preço da patente. No equilíbrio, ambos os lados devem ser iguais.

Reescrevendo (5.17), obtemos

$$r = \frac{\pi}{P_A} + \frac{\dot{P}_A}{P_A}.$$

Ao longo de uma trajetória de crescimento equilibrado, r é constante.[9] Portanto, π / P_A também deve ser constante, o que significa que π e P_A têm que crescer à mesma taxa e esta será a taxa de crescimento populacional, n.[10] Assim, a equação de arbitragem implica que

[9] A taxa de juros, r, é constante pelas razões habituais. Será o preço ao qual a oferta de capital é igual à demanda de capital, e será proporcional a Y/K.

[10] Para verificar isto, lembre-se que a equação (5.14) mostra que π é proporcional a Y/A. O produto *per capita*, y, e A crescem à mesma taxa, de modo que Y/A crescerão à taxa de crescimento populacional.

$$P_A = \frac{\pi}{r-n}. \tag{5.18}$$

Esta equação nos dá o preço de uma patente ao longo da trajetória de crescimento equilibrado.

5.2.4 Solução do modelo

Já descrevemos a estrutura de mercado e a matemática que está por trás das equações básicas apresentadas na Seção 5.1. O modelo é algo complexo, mas vários dos aspectos comentados no Capítulo 4 merecem ser observados. Primeiro, a função de produção agregada apresenta retornos crescentes. Há retornos constantes para K e L, mas quando consideramos que as idéias, A, também são insumos da produção, aparecem os retornos crescentes. Segundo, os retornos crescentes exigem concorrência imperfeita. Isto aparece no modelo do setor de bens intermediários. As empresas neste setor são monopolistas, e os bens de capital são vendidos a um preço superior ao custo marginal. Contudo, os lucros auferidos por essas empresas são captados pelos inventores e simplesmente os compensam pelo tempo despendido para "explorar" em busca de novos projetos. A esse quadro denomina-se *concorrência monopolística*. Não há lucros econômicos no modelo; todas as rendas compensam algum insumo de fator. Finalmente, uma vez que nos afastamos do mundo da concorrência perfeita não há motivo para pensar que os mercados resultem "no melhor dos mundos". Este é um ponto que desenvolveremos com mais atenção na próxima seção.

Já resolvemos o modelo para encontrar a taxa de crescimento da economia no estado estacionário. O que falta fazer é buscar a solução para a alocação do trabalho entre os setores de pesquisa e de bens finais. Que fração da produção trabalha aonde?

Mais uma vez, recorreremos ao conceito de arbitragem. Na margem, as pessoas, nesse modelo simplificado, são indiferentes quanto a trabalhar no setor de bens finais ou no setor de pesquisa. A mão-de-obra empregada no setor de bens finais ganha um salário igual ao seu produto marginal nesse setor, como mostra a equação (5.12):

$$w_Y = (1-\alpha)\frac{Y}{L_Y}.$$

Os pesquisadores recebem um salário com base no valor do projeto que desenvolveram. Vamos supor que os pesquisadores considerem sua produtividade no setor de pesquisa, $\bar{\delta}$, como dada. Eles não reconhecem o fato de que a sua produtividade cai na medida em que mais mão-de-obra entra no setor devido à duplicação, e não internalizam o transbordamento de conhecimento associado a ϕ. Portanto, o salário auferido pela mão-de-obra no setor de pesquisa é igual ao seu produto marginal, $\bar{\delta}$, multiplicado pelo valor das novas idéias criadas, P_A:

$$w_R = \bar{\delta} P_A.$$

Como a entrada é livre tanto no setor de bens finais quanto no setor de pesquisa, seus salários devem ser iguais: $w_Y = w_R$. Esta condição, como a álgebra que será mostrada no apêndice ao final deste capítulo, revela que a parcela de população que trabalha no setor de pesquisa, s_R, é dada por

$$s_R = \frac{1}{1 + \frac{r-n}{\alpha g_A}}. \tag{5.19}$$

Observe que, quanto mais rápido a economia crescer (quanto mais elevado for g_A), maior a fração da população que trabalhará na pesquisa. Quanto mais alta for a taxa de desconto aplicada aos lucros correntes para calcular o valor presente descontado $(r - n)$, tanto menor a parcela da população envolvida com pesquisa.[11]

Com um pouco de álgebra é possível demonstrar que a taxa de juros nessa economia é dada por $r = \alpha^2 Y/K$. Observe que isso é *menos* que o produto marginal do capital que, de acordo com a equação (5.16), é o conhecido $\alpha Y/K$. Essa diferença reflete um ponto importante. No modelo de Solow com concorrência perfeita e retornos constantes à escala, todos os fatores são pagos em conformidade com seus produtos marginais: $r = \alpha Y/K$, $w = (1-\alpha) Y/L$ e, portanto, $rK + wL = Y$. Todavia, no modelo de Romer a produção da economia se caracteriza pelos retornos crescentes e nem todos os fatores podem ser pagos de acordo com seus produtos marginais. Isto fica claro ao observarmos o exemplo de Solow que acabamos de apresentar: como $rK + wL = Y$, não sobra produto na economia para remunerar alguém por seus esforços na criação de novo A. *Isto* é o que determina a necessidade de concorrência imperfeita no modelo. Aqui, o capital recebe menos do que seu produto marginal, e o restante é empregado na remuneração dos pesquisadores que geram novas idéias.

5.3 P&D ÓTIMA

A fração da população que se dedica à pesquisa é ótima? Em geral, a resposta do modelo de Romer a essa indagação é negativa. Neste caso, os mercados não

---

[11] Pode-se eliminar a taxa de juros dessa equação considerando que $r = \alpha^2 Y/K$ e tomando a razão capital-produto da equação de acumulação de capital: $Y/K = (n + g + d)/s_K$.

induzem a quantidade certa de mão-de-obra a se dedicar à pesquisa. Por que não? Onde foi que a mão invisível de Adam Smith errou?

No modelo, a pesquisa apresenta três distorções que levam s_R a diferir de seu nível ótimo. Duas das distorções são facilmente vistas na função de produção de idéias. Primeira, o mercado atribui um valor à pesquisa de acordo com o fluxo de lucros auferidos com os novos projetos. O que o mercado não percebe é que a nova invenção pode afetar a produtividade da pesquisa futura. Recorde que $\phi > 0$ implica que a produtividade da pesquisa aumenta com o estoque de idéias. O problema aqui é que falta um mercado: os pesquisadores não são remunerados pela sua contribuição ao melhoramento da produtividade dos futuros pesquisadores. Por exemplo, as gerações subseqüentes não remuneraram suficientemente Isaac Newton pela invenção do cálculo. Portanto, com $\phi > 0$, há uma tendência, tudo o mais mantendo-se constante, a que o mercado proporcione pesquisa de menos. Essa distorção é, muitas vezes, chamada de "transbordamento de conhecimento", porque parte do conhecimento criado "se derrama" em direção a outros pesquisadores. Esse é o efeito de "subir sobre os ombros". Neste sentido, ele é muito semelhante a uma externalidade positiva clássica: se as abelhas que um fazendeiro cria para produzir mel proporcionam à comunidade um benefício adicional que o fazendeiro não capta (elas polinizam as macieiras da área circunvizinha), o mercado proporcionará um número inferior de abelhas.[12]

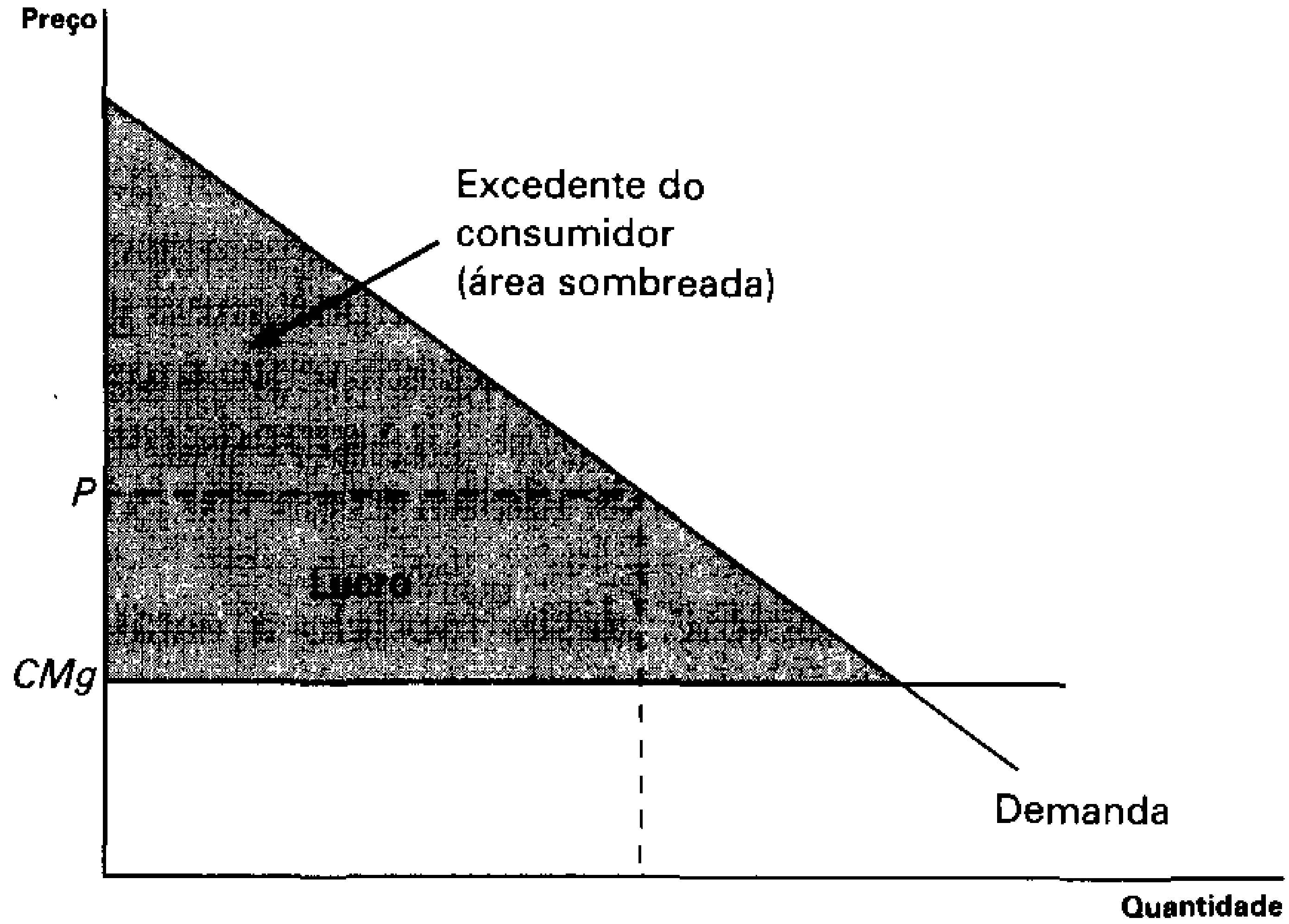
A segunda distorção, o efeito de "pisar nos pés", também é uma externalidade clássica. Ela ocorre porque os pesquisadores não levam em conta o fato de que reduzem a produtividade da pesquisa, por meio da duplicação, quando λ é menor que 1. Contudo, nesse caso a externalidade é negativa. Portanto, tudo o mais mantendo-se constante, o mercado tende a oferecer um excesso de pesquisa.

Finalmente, a terceira distorção pode ser chamada de "efeito de excedente do consumidor". Intuir essa distorção é simples, e ela pode ser vista ao considerarmos um problema padrão de monopólio, como na Figura 5.4. O inventor de um novo projeto capta o lucro monopolístico mostrado na figura. Contudo, o ganho potencial para a sociedade gerado pela invenção do bem é todo o triângulo que se situa acima do custo marginal (CMg) de produção. O incentivo à inovação, o lucro monopolista, é menor que o ganho para a sociedade, e esse efeito, tudo o mais mantendo-se constante, tende a gerar invenções de menos.

Na prática, essas distorções podem ser muito grandes. Pense no excedente do consumidor associado a invenções básicas como a cura da malária ou do cólera ou a invenção do cálculo. No caso dessas invenções associadas à "ciência básica", os transbordamentos de conhecimento e os efeitos de excedente do consumidor geralmente são tão grandes que os governos financiam a pesquisa básica em universidades e em centros de pesquisa.

[12] Por outro lado, se $\phi < 0$, então pode ocorrer o inverso.

FIGURA 5.4 "EFEITO EXCEDENTE DO CONSUMIDOR".



Essas distorções podem ser até importantes para a P&D empreendida por empresas. Pense nos benefícios decorrentes do excedente do consumidor nos casos da invenção do telefone, da iluminação elétrica, do laser e do transistor. Autores como Zvi Griliches, Edwin Mansfield e muitos outros produziram uma vasta literatura econômica buscando estimar a taxa de retorno "social" de pesquisa desenvolvida por empresas. Griliches (1991) fez uma revisão dessa literatura e encontrou taxas de retorno da ordem de 40% a 60%, bem superiores às taxas de retorno privadas. Como questão empírica, isto sugere que as externalidades positivas da pesquisa superam as externalidades negativas de modo que o mercado, mesmo com o moderno sistema de patentes, tende a oferecer pesquisa de menos.

Faz-se oportuno um comentário final sobre concorrência imperfeita e monopólios. A teoria econômica clássica argumenta que os monopólios são ruins para o bem-estar e a eficiência porque criam "pesos mortos" na economia. Esse raciocínio está por trás de regulamentações destinadas a impedir as empresas de cobrar preços superiores ao custo marginal. Já a economia das idéias sugere que é importante que as empresas possam determinar seus preços acima do custo marginal. É exatamente essa cunha que permite os lucros que incentivam a inovação nas empresas. Ao decidir questões antitrustes, a moderna regulamentação da concorrência imperfeita tem que ponderar as perdas provocadas pelo peso morto face aos incentivos à inovação.

5.4 RESUMO

O progresso tecnológico é o motor do crescimento econômico. Neste capítulo tornamos endógeno o processo pelo qual ocorre a mudança tecnológica. Em vez de ser o "maná que cai do céu", o progresso tecnológico decorre da busca de novas idéias em um esforço por captar, em forma de lucro, parte do ganho social gerado pelas novas idéias. Ratoeiras melhores são inventadas e comercializadas porque as pessoas pagarão um prêmio por uma melhor forma de caçar ratos.

No Capítulo 4, mostramos que a natureza não-rival das idéias implica que sua geração se caracteriza por retornos crescentes à escala. No presente capítulo, esta implicação serviu para ilustrar a importância geral da escala na economia. Em temos específicos, a taxa de crescimento mundial da tecnologia está ligada ao crescimento populacional. Um grande número de pesquisadores pode criar um número maior de idéias, e esse é o princípio geral que gera o crescimento *per capita*.

Tal como no modelo de Solow, neste modelo a estática comparativa (como um aumento na taxa de investimento ou um aumento na participação da mão-de-obra dedicada a P&D) gera *efeitos de nível* em vez de efeitos de crescimento a longo prazo. Por exemplo, um subsídio governamental que aumenta o número de trabalhadores na pesquisa aumentará a taxa de crescimento da economia, mas só de modo temporário, enquanto a economia transita para um patamar mais elevado de renda.

Os resultados deste capítulo combinam perfeitamente com a evidência empírica documentada no Capítulo 4. Pense, de forma ampla, na história do crescimento econômico em ordem cronológica inversa. O modelo de Romer se destina, claramente, a descrever a evolução da tecnologia desde o surgimento dos direitos de propriedade intelectual. É a presença de patentes e direitos autorais que permite aos inventores auferir lucros para cobrir os custos iniciais do desenvolvimento de novas idéias. No último (ou nos dois últimos) século(s), a economia mundial testemunhou um crescimento rápido e sustentado da população, da tecnologia e da renda *per capita* como jamais se tinha visto na história.

Pense em como a economia do modelo se teria comportado na ausência de direitos de propriedade. Nesse caso, os inovadores seriam incapazes, em primeiro lugar, de auferir os lucros que os incentivam, e assim não haveria pesquisa. Sem pesquisa não seriam geradas novas idéias, a tecnologia seria constante e não haveria crescimento *per capita* na economia. Falando em termos gerais, uma situação assim era a que prevalecia no mundo antes da Revolução Industrial.[13]

Finalmente, um grande corpo de estudos sugere que os retornos sociais à inovação continuam sendo bem superiores aos retornos privados. Embora sejam substanciais, os "prêmios" que o mercado oferece aos inovadores potenciais ficam aquém do ganho total para a sociedade em função das inova-

---

[13] Houve, naturalmente, avanços científicos e tecnológicos antes de 1760, mas eram intermitentes e havia pouco crescimento sustentado. Os avanços que ocorreram poderiam ser atribuídos à curiosidade intelectual, a recompensas do governo ou a financiamentos públicos (como o prêmio para a criação do cronômetro e o apoio aos observatórios astronômicos).

ções. Esse hiato entre retornos privados e sociais sugere que a criação de novos mecanismos de incentivo à pesquisa poderia, ainda, gerar grandes ganhos. Mecanismos como o das patentes são eles próprios idéias, e não há razão para imaginar que as melhores idéias já tenham sido descobertas.

APÊNDICE: Solução para a participação de P&D

A participação da população que trabalha em pesquisa, s_R, é obtida quando o salário no setor de bens finais é igual àquele auferido no setor de pesquisas:

$$\bar{\delta} P_A = (1-\alpha)\frac{Y}{L_Y}.$$

Substituindo P_A por seu valor na equação (5.18),

$$\bar{\delta}\frac{\pi}{r-n} = (1-\alpha)\frac{Y}{L_Y}.$$

Recorde que π é proporcional a Y/A na equação (5.14):

$$\frac{\bar{\delta}}{r-n}\alpha(1-\alpha)\frac{Y}{A} = (1-\alpha)\frac{Y}{L_Y}.$$

Vários termos se cancelam, e com isso resta

$$\frac{\alpha}{r-n}\frac{\bar{\delta}}{A} = \frac{1}{L_Y}.$$

Finalmente, observe que, ao longo da trajetória de crescimento equilibrado, $\dot{A}/A = \bar{\delta} - L_A/A$ de modo que $\bar{\delta}/A = g_A/L_A$. Com essa substituição,

$$\frac{\alpha g_A}{r-n} = \frac{L_A}{L_Y}.$$

Observe que L_A/L_Y é apenas $s_R/(1-s_R)$. Resolvendo a equação para s_R, verificamos que

$$s_R = \frac{1}{1+\frac{r-n}{\alpha g_A}},$$

como mostra a equação (5.19).

EXERCÍCIOS

1. *Um aumento na produtividade da pesquisa.* Imagine que ocorre um aumento único na produtividade da pesquisa, representado por um aumento de δ na Figura 5.1. O que ocorre, ao longo do tempo, com a taxa de crescimento e o nível de tecnologia?

2. *Uma quantidade excessiva de algo bom*? Pense no nível de renda *per capita* ao longo de uma trajetória de crescimento equilibrado dada pela equação (5.11). Ache o valor de s_R que maximize o produto por trabalhador ao longo da trajetória de crescimento equilibrado desse exemplo. De acordo com esse critério, é possível haver P&D demais?

3. *O futuro do crescimento econômico* (extraído de Jones [1997b]). Recorde que, como vimos na Figura 4.6 e nos comentários feitos em torno da mesma no Capítulo 4, o número de cientistas e engenheiros engajados em P&D cresceu mais rapidamente do que a população mundial, nas economias avançadas do mundo. Para usar alguns números plausíveis, imagine um crescimento populacional de 1% e uma taxa de crescimento para os pesquisadores de 3% ao ano. Suponha que $\dot{A}/A$ seja uma constante em torno de 2% ao ano. (Por quê?)
   - **(a)** Usando a equação (5.6), estime $\lambda / (1 - \phi)$.
   - **(b)** Usando essa estimativa e a equação (5.7), faça uma estimativa da trajetória de crescimento de longo prazo do estado estacionário para a economia mundial.
   - **(c)** Por que esses números diferem? O que significam?
   - **(d)** O fato de que muitos países em desenvolvimento estejam começando a se envolver com P&D muda esse cálculo?

4. *A parcela do excedente apropriada pelos inventores* (extraído de Kremer [1996]). Na Figura 5.4, encontre a razão entre o lucro captado pelo monopolista e o total do excedente do consumidor disponível se o bem tivesse seu preço igualado ao custo marginal. Suponha que o custo marginal é a constante c e que a curva de demanda seja linear e dada por $Q = a - bP$, onde a, b e c são constantes positivas com $a - bc > 0$.