

TIAGO MAXIMILIANO BEVILAQUA

**DESENVOLVIMENTO CAPITALISTA E PROGRESSO TÉCNICO
NA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada ao Instituto de Economia da UNICAMP
para a obtenção do título de Doutor em Economia, sob a orientação
do Prof. Dr. João Manuel Cardoso de Mello

*Este exemplar corresponde ao original da
tese defendida por Tiago Maximiliano
Bevilaqua em 23/04/98 e orientada pelo
Prof. Dr. João Manuel Cardoso de Mello.
CPG/IE, 23/04/98*


Campinas, março de 1998

0812530



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
	Unicamp
	B468d
V.	Ex
TOMADA DE	339,80
PROC.	395/98
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	28/05/98
N.º CPD	

CM-00111258-7

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO
CENTRO DE DOCUMENTAÇÃO DO INSTITUTO DE ECONOMIA**

B468d Bevilaqua, Tiago Maximiliano
Desenvolvimento capitalista e progresso técnico na revolução industrial / Tiago Maximiliano Bevilaqua. – Campinas, SP : [s.n.], 1998.

Orientador : Joao Manuel Cardoso de Mello.
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas.
Instituto de Economia.

1. Capitalismo. 2. Historia econômica. I. Mello, João Manuel Cardoso de. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. III. Título.

Para,

Minha mãe, que instilou a curiosidade,

Meu pai, que mostrou ser a dignidade essencial.

A Osny,

Que me deu além do que imaginara.

AGRADECIMENTOS

A tolerância da UNICAMP para com a demora na apresentação desta tese posso deixar de evocar. Ainda mais importante foi o ambiente extremamente favorável à discussão acadêmica séria e aberta, que pude desfrutar ao longo de tantos anos com meus colegas do Instituto de Economia.

João Manuel soube conduzir meu difícil processo de elaboração desta tese e lidar com minhas idiossincrasias.

Igor, insistiu para que escrevesse artigo (e aceitou vários atrasos) para a Revista Paranaense de Desenvolvimento que foi o ponto de partida, e depois ajudou a melhorar meu (mal) trato do vernáculo.

Zé Walter, companheiro generoso, que permitiu dedicar-me com obstinação à feitura da tese.

Vasco, deu sua ajuda em mais um dos momentos problemáticos.

As filhas, Tata e Ti, foram obrigadas a ter um pai pouco presente.

Osny, teve de tolerar, por vezes sem aplaudir, a necessidade de concentração. Acima de tudo, deu-me as condições emocionais para prosseguir brigando para chegar ao fim.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO I: A INDÚSTRIA TÊXTIL.....	12
CAPÍTULO II: MÁQUINA A VAPOR	59
CAPÍTULO III: METALURGIA E MÁQUINAS-FERRAMENTA	103
CAPÍTULO IV: FERROVIA E A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES	144
CONCLUSÕES	169

INTRODUÇÃO

O progresso técnico, visto sob sua dupla dimensão, de conhecimento científico/tecnológico e econômico, é o grande propulsor do desenvolvimento material que presenciamos nos três últimos séculos. Também é parcela imprescindível à constituição da esfera econômica do capitalismo. O objetivo desta tese é flagrar as relações entre desenvolvimento capitalista e progresso técnico, em seu momento inicial, a revolução industrial inglesa, ou como habitual, simplesmente revolução industrial.

O que entender por capitalismo? A simples existência de lucro, no sentido de uma diferença entre valores de compra, ou custo, e de venda, é suficiente para se afirmar que a forma das relações sociais deva ser designada por capitalismo? O objetivo central desta introdução é mostrar por que entendemos por capitalismo as relações sociais dominadas pelo capital industrial, e mais especificamente pela chamada grande indústria, apontando algumas propriedades básicas da dinâmica desse sistema.

O capital, enquanto relação social capaz de direcionar o movimento (isto é, ao ser dominante pode caracterizar o sistema como capitalismo), está situado bem depois da simples existência de algumas formas de capital e, historicamente, do comércio com o propósito de lucro. Isto porque o comércio é incapaz de tornar o capital a forma social dominante e universal. Quem é capaz de fazê-lo é a indústria. É o desenvolvimento do capital industrial que, com força irresistível, será capaz de tudo transformar, inclusive o próprio comércio, e a uma velocidade nunca antes presenciada na história humana. Por esta razão identificamos capitalismo a dominação do capital industrial. É somente sob a dominação deste que a forma capital obtém autonomia, no sentido de determinar a dinâmica econômica e de ser capaz de garantir a reprodução das relações capitalistas de produção.

O capital comercial, secundado pelas relações financeiras, do ponto de vista estritamente econômico, domina a gênese do capitalismo. O comércio mercantiliza a produção; abre, unifica e amplia mercados, tornando alguns deles internacionais; cria vias de transporte; fornece e centraliza o capital juntamente com o capital de origem financeira; desenvolve a cidade; especializa unidades agrícolas; promove a divisão do trabalho entre cidade e campo e, de forma geral, amplia a divisão social do trabalho. Essas são condições essenciais à dominação do capital. Todavia, observamos historicamente sua incapacidade de generalizar seu predomínio, ficando “pontualmente” localizado, as cidades-estados são um exemplo, bem como os longos períodos de estagnação e até mesmo de regressão. Sua capacidade transformadora encontra limites relativamente estreitos, porque ainda que intervenha nas relações de produção, não chega a transformá-las, ou seja, a mudar a essência da sua forma.

Um exemplo oportuno dessa incapacidade é a produção doméstica (*putting out*), isto é, aquela realizada por famílias, sob a égide de comerciantes. Apesar de o comércio ser uma espécie de organizador da produção, e com atividades de financiamento, comumente ele não entra diretamente na produção. A produção têxtil, na qual a produção doméstica foi mais corrente, continuou a constituir-se de várias etapas, realizada por produtores dispersos, os quais não têm disciplina, nem ritmo impostos externamente. A coordenação de suas tarefas é frouxa, e esses produtores têm uma independência nada desprezível por terem outras fontes de rendimento, particularmente na agricultura. Ainda que o produtor seja dependente do comerciante, não há a formação de um mercado de trabalho. O ganho do comerciante não dependia tanto das condições de produção em si, mas de colocar à disposição dos trabalhadores os instrumentos de trabalho e ser um “organizador geral” da produção. Observava-se que no verão a produção têxtil se reduzia devido à maior necessidade de dedicação ao trabalho

agrícola, aumentando no inverno, e que ocorria queda de produtividade com a redução da demanda, porque o comerciante dividia a produção por um maior número de produtores.

Sobre a agricultura, cujo papel histórico (no âmbito político ele é singular) é tão importante quanto o do comércio, e muito maior que o da manufatura, limitamo-nos a lembrar algumas razões para essa importância. Ao passar por um processo de mudança das condições técnicas, a agricultura interage com a expansão urbana, aumentando o excedente agrícola a preços cadentes e liberando mão-de-obra, e, por seu turno, tem seu mercado ampliado por essa expansão. À medida que a terra vai sendo desgastada como fonte de poder (feudal ou aristocrático), abrem-se novas possibilidades de diferenciação social e de mudança dos valores em geral. Com isto, através de um processo relativamente lento, a terra vai se tornando uma mercadoria, sujeita a um preço, o que impõe níveis de rentabilidade e portanto de produtividade; forma também a “categoria” dos despossuídos, que precisa vender sua força de trabalho de forma a obter sua sobrevivência. Enfim, do ponto de vista econômico, essa mudança é central à compreensão da dinâmica, e da formação dos mercados de trabalho e de terra.

A manufatura, forma primitiva da dominação direta do capital na produção de mercadorias não-agrícolas, pode ser entendida como resultante do desenvolvimento do comércio e das transformações do trabalho artesanal. Está assentada no aprofundamento da cooperação na produção em si mesma, ou usando a expressão de Marx, constituiu o trabalhador coletivo, isto é, trabalhador e instrumentos de trabalho conformando um conjunto.

Suas principais características são: seu ponto de partida são as tarefas como executadas no artesanato; impõe um volume mínimo de trabalhadores, de capital aplicado e de produção; há um objetivo comum, coordenado e imposto a todos os trabalhadores, o que obriga um certo ritmo de trabalho; há uma efetiva separação do controle do processo de produção

entre seu coordenador, agora um capitalista, e os trabalhadores; trata-se de uma ampliação extensiva da divisão social do trabalho, parcelando as tarefas, unindo ou desmembrando ofícios, mas sempre tendo como base as formas técnicas de produção do artesanato; especializa os instrumentos de trabalho, a partir da natureza das tarefas conforme praticadas pelo artesanato, instrumentos estes, produzidos de forma artesanal, fazendo com que as possibilidades de avanços técnicos sejam ainda mais limitadas.¹

A manufatura deve pois ser considerada uma nova relação social de produção, na medida em que os trabalhadores agora são assalariados e que há um capitalista que obtém lucro com o trabalho alheio — diferentemente do artesanato. No entanto, ela é mais propriamente uma extensão das formas produtivas anteriores, em que as operações manuais e os dotes do trabalhador predominam (o processo de trabalho se adaptando ao trabalhador), que uma revolução nas condições de produção. É como se tivéssemos vários produtores, mais especializados, das formas pretéritas de produção, trabalhando em conjunto, aplicando seu trabalho em tarefas decompostas e utilizando instrumentos de trabalho um pouco mais desenvolvidos. Ainda que a divisão do trabalho produtivo se intensifique, a divisão social do trabalho é pouco afetada.

Estamos apontando que a manufatura tem limites estreitos, e um dos aspectos centrais são as restritas possibilidades de crescimento da produtividade. A rentabilidade e capacidade de crescimento da oferta eram restringidas por essa limitação do aumento de produtividade. Se por exemplo se verificasse um aumento da demanda sem o correspondente aumento da oferta de trabalho, caso não ocorresse um aumento da jornada de trabalho, se daria uma pressão sobre os salários, em detrimento dos lucros. Como isto nem sempre se verificou,

¹ Estamos aqui trabalhando com os conceitos em sua forma mais abstrata. Os conceitos de manufatura e grande indústria são usados conforme Marx.

em certos momentos foi necessária a intervenção do estado de modo a regular a oferta e o preço da força de trabalho. Em suma, o capital não dispõe ainda do poder de se autodeterminar, pois não domina as condições de sua reprodução, podendo mesmo necessitar lançar mão de expedientes extra-econômicos.

Já na grande indústria, o elemento dominante é o capital, tanto na esfera econômica quanto na técnica. Progressivamente, serão verificados os atributos básicos da grande indústria: a substituição da força humana pela motriz, o processo de produção regido por um conjunto de máquinas e a produção de máquinas por máquinas. A concorrência entre capitais, dadas as novas possibilidades técnicas, promoverá a mudança permanente, mas com descontinuidades, das condições de produção e em geral da organização social da produção, fazendo do capitalismo um sistema materialmente progressivo.

Ao contrário da manufatura, o instrumento de trabalho não é mais uma extensão do trabalhador, pois agora o princípio da organização da produção funda-se na máquina, na qual a ferramenta é parte de um mecanismo, a máquina-ferramenta. A cooperação poderá se desenvolver, sem cessar, com base na cooperação entre máquinas, que são produzidas com o auxílio de máquinas, tornando-se pois independentes dos dotes do trabalhador. A necessidade de formação da força de trabalho cairá drasticamente, com efeitos sobre seu valor.

O capital "libera-se" assim do trabalhador, subordinando-o.¹ Essa subordinação se dá em dois níveis: na fábrica propriamente dita, na qual o ritmo de produção depende sobretudo

¹ A "independência" à que nos referimos se dá em um nível relativamente alto de abstração, observando-se, mesmo em certos períodos ou atividades, movimentos em sentido oposto. É ilustrativo, enquanto *tendência* à subordinação, especialização e desqualificação do trabalho, o exemplo da linha de montagem da Ford. Parte dos operários eram recém-chegados do campo e parcela ainda maior era constituída de imigrantes. Num *survey* realizado em 1915, verificou-se que em sua fábrica eram faladas mais de 50 línguas, e que muitos dos operários apenas "arranhavam" o inglês, ou seja, a capacidade de comunicação era reduzidíssima. Como seria de esperar o treinamento necessário era mínimo, bastando alguns minutos para que estivessem aptos a realizar sua

do conjunto de máquinas e o processo de produção se torna basicamente independente da destreza do trabalhador, impondo assim uma disciplina que é interna ao processo produtivo; e socialmente, em que a subordinação se dá seja pelo fato do trabalhador não ter alternativa a não ser vender sua força de trabalho, seja pelo fato da dinâmica da acumulação de capital tender a gerar inovações que, ao aumentarem a produtividade, reduzem quantitativa e qualitativamente a necessidade de força de trabalho (naturalmente para um mesmo nível de produção). O capitalismo gera pois além de uma subordinação econômica uma subordinação técnica e objetiva, que o faz prescindir de meios extra-econômicos para a dominação do trabalho. Observa-se nesta altura a independência da esfera econômica (com a formação dos mercados de trabalho, terra e capital) e a generalização dos mercados de bens, com o que se pode falar, com correção, em “economia” e “econômico”.¹

Na grande indústria, conforma-se um círculo virtuoso de crescimento, em que, provocado pelo aguilhão da busca de aumento de lucro e pela concorrência, acelera-se o processo de acumulação de capital e as condições técnicas de produção mudam constantemente, como acentuava Schumpeter, por meio de um processo descontínuo, concentrado e desarmonioso, provocando aumento de produtividade e ampliação do mercado, que, por seu turno, estimulam permanentemente a acumulação de capital, configurando-se assim um processo interativo-cumulativo de desenvolvimento. Neste processo, verificam-se intensificação do uso de máquinas, concentração de capital e aumento da escala de produção.

tarefa. (WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. *The machine that changed the world*. New York : Rawson Associates, 1990). Mesmo aí, ainda existia uma elite trabalhadora constituída pelos ferramenteiros.

¹ São dignos de nota, de modo a ilustrar como o processo histórico é bem mais complexo, os “avanços e recuos” do mercado de trabalho, cuja constituição definitiva só se dá com a extinção da *Speenhamland Law*, já relativamente avançado no século XIX, em 1834, o que é cabalmente provado por POLANYI, K. *A grande transformação*. Rio de Janeiro : Campus, 1980.

A ampliação da divisão social do trabalho, outro fator promotor do aumento de produtividade, não se dá apenas pelo desmembramento de atividades já existentes, mas também pela criação de novas atividades, que terminam por constituir novos setores. Ocorre então não apenas um aprofundamento das relações interindustriais, mas um permanente alargamento. Esta criação de novas frentes de investimento é imprescindível à dinâmica do capitalismo. O crescimento da produtividade, resultante do progresso técnico, aumenta a renda real, e particularmente no capitalismo concorrencial, rebate sobre preços e alarga o mercado. Em simultâneo, a concorrência provoca a queda da margem de lucro, que, fechando o círculo, pressiona por inovações que reduzam o custo.

Entretanto, se novos produtos, e portanto novas atividades, não são criados, serão verificadas no longo prazo redução das oportunidades de investimento, exaustão do consumo e queda do ritmo de crescimento da demanda. Vale dizer que deve existir uma renovação permanente dos setores de liderança, cujo dinamismo desfalece, por novos setores, o que se dá pelas mesmas razões vistas anteriormente, e pela ampliação das fronteiras técnicas permitidas pelos avanços científicos — o que reforça o papel das transformações das condições técnicas.

A força do capitalismo lhe é pois interna. Seu poder dinâmico irá capacitá-lo a subordinar, não apenas o trabalhador, mas as formas de produção anteriores e arrastá-las. Assim ele transformará a agricultura, tornando-a com o tempo como que um ramo industrial, unificará e ampliará o mercado de trabalho, desenvolverá o próprio comércio e os meios de transporte e, o que é da maior importância, permitirá e exigirá profundas transformações do sistema financeiro.

Nesta fase, as barreiras à expansão são internas e colocadas pelo próprio processo de acumulação, processo este que não é linear nem homogêneo. Pelo contrário, são constituintes do processo de transformação do capitalismo a descontinuidade e a desigualdade. Seu espaço

econômico passará por bloqueios periódicos, impostos pelo próprio processo de acumulação, o que se manifestará através das variações cíclicas da produção e das crises.

A gênese da grande indústria, e portanto a formação do que entendemos por capitalismo, é um processo histórico complexo e contraditório, que vai além do âmbito econômico. No transcurso de um longo período, são gestadas suas condições históricas, em que se observam profundas transformações sociais e dos elementos constituintes da visão de mundo predominante, como: queda do poder da tradição e da religião, espírito científico, estado nacional e secular, os conceitos de indivíduo e liberdade. Cabe ressaltar que não entendemos, que este processo de mutações designado por revolução industrial, deva ser visto como mero reflexo, ou mesmo, apenas subordinado ao desenvolvimento no âmbito econômico, e portanto, muito menos, ao nível técnico. Pelo contrário, é resultante de uma complexa teia de interdependências, portanto não explicáveis exclusivamente pelas usuais relações de causa e efeito.

Novos processos de produção, conquista de novos materiais e novas formas de energia é uma forma de sintetizar as mudanças das condições técnicas sob o capitalismo. A revolução industrial, processo de constituição do capitalismo originário, tem como atividades nucleares, a indústria têxtil, a máquina a vapor, a metalurgia e a indústria de máquinas-ferramenta, os três últimos o núcleo do departamento de bens de produção durante o período, e finalmente, a ferrovia.

À indústria têxtil, cabe a liderança inicial. Seus processos produtivos, no entretanto, transformam-se lentamente, provocando durante um intervalo relativamente longo o revigoreamento das formas de produção anteriores. Como estas lhe são subordinadas, acaba por matá-las, com a mecanização assumindo a forma predominante. Contudo, sendo uma indústria de bens de consumo, sua capacidade de transformação tem limites relativamente estreitos.

A máquina a vapor é um momento privilegiado para a reflexão das relações entre progresso técnico e capitalismo, por ser uma nova fonte de energia que permitirá a mecanização (novos processos) e a criação de novas atividades, com fortes relações interindustriais.

A metalurgia inicia o processo de transformações técnicas simultaneamente à têxtil e durante o século XVIII este é até mais intenso que o da têxtil. Ainda que rigorosamente, do ponto de vista da física, não se possa afirmar que ela chegue a produzir um novo material, de uma ótica das condições técnicas e econômicas - de fato é isto. Por surgirem novos tipos de ferro, com propriedades mais adequadas, como também pela transformação dos processos provocar uma queda de preços e elevação da capacidade produtiva de tal monta que leva o ferro a tornar-se o novo material de uma ótica histórica, tendo em vista a variedade de usos, e talvez mais que tudo, porque o progresso técnico de todas as demais atividades tem como condição esta abundância a preços cadentes.

Se o departamento de bens de produção constitui o cerne do capitalismo, o setor de bens de capital é seu "núcleo duro". Os bens de capital, direta ou indiretamente, "portadores" das inovações, têm intensos laços internos à própria indústria e, só com uma indústria produtora de máquinas pode afinal o capitalismo atingir a maturidade. Mostraremos que a constituição desta indústria faz-se por estímulos provenientes de várias atividades, de forma não sincronizada, e não pelo desenvolvimento apenas da têxtil. A comparação com os EUA permitirá observar que a dinâmica da economia inglesa não parece ser suficiente para que ela se "complete" durante o período, levantando assim a hipótese da industrialização inglesa durante a revolução industrial possuir um caráter limitado.¹

¹ Não só estamos pensando comparativamente aos EUA, como apontando para uma limitação da economia inglesa transitar para o futuro padrão, qual seja, o capitalismo monopolista.

Nas décadas de 1820 e 1830, estes setores atingem a maturidade técnica.¹ A ferrovia, altamente dependente tecnicamente das três últimas atividades, vale dizer, da conformação básica do departamento de bens de produção, tem então preenchida as condições técnicas para deslanchar. Todavia, enquanto sistema complexo que é, depende ainda do desenvolvimento da construção civil e impõe novas exigências financeiras, a centralização do capital, devido aos elevados volumes de capital de que necessita. Em meados da década de 1830, observa-se o primeiro grande surto ferroviário, mas a malha completa-se apenas com o segundo ciclo, da segunda metade dos 40. A ferrovia, culminância da revolução industrial, dá seus passos iniciais sob a égide do capitalismo concorrencial, e atinge a maturidade apontando para o novo padrão, o capitalismo monopolista.

A posição predominante, certamente entre os autores convencionais (economistas, mas também historiadores), mas talvez também entre os não “ortodoxos”, é ver na revolução industrial um período de transformações lentas, localizadas e relativamente restritas. Tentaremos mostrar que ao contrário, trata-se de fato de uma revolução, o triunfo do capital. Isto porque, no nosso entender, nesse período ocorre o primeiro conjunto de mudanças técnicas capaz de gerar um processo interativo-cumulativo. Há um *cluster* de inovações,² liderado pelas indústrias têxtil, metalúrgica e mecânica que, juntamente com as transformações sociais, levará

¹ Naturalmente estamos a nos referir ao período sob análise. A máquina a vapor, sobretudo, e a metalurgia, antecedem ligeiramente, pois já em meados de 1810, mostram maior grau de estabilidade técnica.

² *Cluster* é usado em um sentido fraco - correspondente ao período sob análise. Penso em um conjunto de inovações em uns poucos setores, que interagindo num processo cumulativo, provoca um profundo processo de transformações que afeta toda a economia. Todavia, comparativamente ao que pode-se observar após os dois últimos decênios do século XIX, a concentração no tempo não é igualmente pronunciada e a interação menos intensa.

a um processo irreversível, e não mais a um surto, seguido de períodos de estagnação, como ocorrera no passado.¹

¹ A indústria carbonífera, embora não venha a ser objeto de exame por não apresentar ritmo de progresso técnico comparável as demais, é imprescindível à compreensão da dinâmica do período, por seu peso no aparelho produtivo e pelas fortes relações interindustriais, inclusive no tocante a seus efeitos sobre o progresso técnico da maioria das atividades que analisaremos. Além das mudanças técnicas, o crescimento demográfico é outro fator central na revolução industrial.

CAPÍTULO I

A INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria têxtil e, em particular, a de algodão, é o setor de atividade que primeiro passa por profundas transformações. Sua importância não se deve tanto, como nas demais atividades que viremos a examinar, à intensidade das relações inter-industriais, mas à sua generalizada ação transformadora, já que joga papel de relevo na urbanização, no comércio e nas relações coloniais, na formação do proletariado e suas lutas iniciais, bem como na legislação limitadora das condições de exploração da força de trabalho, em mudanças de política econômica, tais como as *Corn Law* e em geral, no movimento em prol do livre comércio. Seja por sua liderança inicial, seja pela variedade de influências, e também por seu tamanho absoluto (que atinge em torno de 10% da renda nacional nas décadas de 1820-30, representando 4 a 5% a têxtil de algodão) a indústria têxtil e, em particular a de algodão, é decisiva na revolução industrial.

É inimaginável que este processo viesse a ser deslanchado na formação do capitalismo originário senão por uma indústria de bens de consumo, dadas as necessidades de constituição de novas relações capital-trabalho, de formação do capital industrial, do mercado, e simplesmente da dimensão reduzida de outras indústrias capitalistas, sobretudo as do departamento de bens de produção. Mas justamente por ser uma indústria de bens de consumo, sua capacidade de transformação tem limites *relativamente* estreitos.¹

¹ Hobsbawm aponta as seguintes condições que a indústria de bens de consumo deve atender para assumir tal liderança, sobre as quais os analistas estariam de acordo: 1) mercadorias amplamente difundidas; 2) que mercadorias estandardizadas e voltadas mais para um mercado de baixa que de alta renda; 3) oferta de matéria prima que possa acompanhar o aumento da demanda sem pressionar custo; 4) custo de transporte relativamente

Não concordamos pois, com autores como Schumpeter, para quem a “história industrial inglesa no período em discussão (1787-1842) pode ser praticamente explicada pela história de uma única indústria [...]: têxteis de algodão.”¹ Nem tampouco com Hobsbawm, sobre o qual voltaremos a comentar, que apesar de não ser tão taxativo, centra o que denomina primeira fase da revolução industrial na indústria de algodão, na qual “quase exclusivamente” pode ser encontrado o que se entende modernamente por indústria ou fábrica.²

O período chamado de revolução industrial, e não de “revolução têxtil”, não o foi por acaso. É nele que se verifica a formação e dominação do capital industrial e isto não seria possível apenas com a liderança de uma indústria de bens de consumo, por mais importante, como de fato foi, a indústria têxtil de algodão. Se pretendemos que revolução industrial seja mais que uma expressão para periodizar, sem fundamento teórico, há que pensar-se em termos de um processo, que necessariamente traz consigo profundas transformações em diversas atividades. Na verdade, como discutiremos a seguir, as transformações pelas quais passa a indústria do algodão são lentas e longas, convivendo e mesmo reconstituindo formas de organização da produção anteriores para, depois de uma longa agonia, destruí-las. Tais transformações, por esta razão, devem ser mais propriamente entendidas como uma transição *sob a dominação da organização fabril*.

A lançadeira volante, inovação devida a John Kay,³ patenteada em 1738 mas que só vem a ter seu uso difundido muito depois, aumenta a produtividade do trabalho manual na

baixo em relação ao preço da mercadoria. HOBBSWAM, E. J. *En torno a los orígenes de la revolucion industrial*, México, D.F: Siglo Veintuno Editores, p. 103.

¹ SCHUMPETER, J. A. *Business Cycles*, Philadelphia: Porcupine Press, reprint 1982 (first ed., 1939), v. I, p. 270.

² HOBBSAWM, E.J. *Las revoluciones burguesas*, Madrid: Ediciones Labor, 1976, T. I, p. 68-77.

³ A discussão mais minuciosa das inovações na indústria têxtil será feita mais adiante.

tecelagem. É criado um desequilíbrio tecnológico que, como em muitos momentos posteriores, estimula a inovação.¹ Em um período relativamente curto, a partir de 1764, observa-se um surto de inovações na fiação. Estas inovações, inclusive a de Arkwright, apesar de vir a ser conhecida por *water-frame*, foram inicialmente concebidas para serem movidas pela força humana (no caso da máquina de fiar de Arkwright é explicitada a intenção do uso de tração por cavalos). A máquina de Arkwright logo passa a ser movida por rodas d'água e, posteriormente, também pela máquina a vapor. A primeira tentativa, frustrada, de seu uso é do próprio Arkwright, com uma máquina de pressão atmosférica, e a primeira fábrica, no sentido restrito de dispor de um mecanismo central de geração de força, utilizando uma máquina a vapor de Watt, é de 1785, cujo uso, entretanto, só se intensificará no século XIX. O desequilíbrio se inverte e a tecelagem é que passa a ser o “ponto fraco”.²

Cartwright, sentindo-se desafiado numa conversa de salão sobre a extrema necessidade de um tear mecânico em virtude do crescimento da produção de fio, mas considerado tarefa impossível, lança-se na “aventura” de sua construção. Em 1787 considera-o pronto e instala uma pequena fábrica que utiliza sua máquina, mas pouco depois vai a falência. Em 1790, orientado pelo próprio Cartwright, é instalada uma fábrica de porte usando sua máquina, a qual, entretanto, pouco depois de entrar em operação é incendiada numa manifestação.³

¹ Ver por exemplo, ROSENBERG, N. *Inside the Black Box*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. Devemos alertar que, a despeito de aqui estarmos a utilizar o argumento do desequilíbrio tecnológico, entendemos que tenha apenas capacidade explicativa “pontual”.

² O aumento de produtividade na fiação se dá com a incorporação de progresso técnico, mesmo sem o uso da máquina a vapor.

³ Ainda que o fato da fábrica ter sido incendiada, possa ter influenciado a “lentidão” da mecanização na tecelagem, não estou sugerindo que isto tenha sido fator importante.0

Na fiação atinge-se rapidamente, em 1775, pelas mãos de Arkwright, um conjunto mecanizado integrado, desde a preparação até à fiação propriamente dita. Ainda que a mecanização avance no setor de fiação, e de forma bem mais acentuada na fiação de fios finos – cuja maior variedade é tornada possível justamente pela mecanização – que na de fios grosseiros, isto se dá de forma paulatina, convivendo durante um período relativamente largo com formas de organização da produção não fabris. Já na tecelagem, seja por razões técnicas, que víremos a discutir, seja pelo aumento da população economicamente ativa, ou, ainda, pela aceitação de rendimentos cada vez menores por parte dos tecelões com oferta de fio em quantidades crescentes a preços cadentes, só a partir de meados da década de 1810, e mais acentuadamente na década de 20, é que se observa a introdução de teares mecanizados.

O que entendo ser essencial frisar é que, dadas as condições econômicas e sociais, o progresso técnico, inicialmente através de máquinas manuais (tanto a lançadeira volante, na tecelagem, quanto as inovações na fiação), depois via mecanização crescente da fiação, revigora e transforma formas da organização da produção não tipicamente capitalistas (chegando mesmo a criar uma enorme massa de tecelões de algodão¹, que não devem ser considerados como assalariados, ainda que sua independência vá paulatinamente sendo reduzida): faz conviver e leva à interação entre o capital comercial, “manufatureiro” e industrial, bem como, através de um lento processo, permite o triunfo do capital *tout court*.

Do ponto de vista técnico, na fiação há três alternativas (a *jenny* de Hargreaves, a *water-frame* de Arkwright e a *mule*, de Crompton) que não são imediatamente concorrentes, no sentido de apresentarem, umas sobre as outras, vantagens em termos de variedade e qualidade do fio, valor do investimento e custo. Vive-se uma fase de aprendizagem, tanto no

¹ A tecelagem de lã, até a década de 1810, que é manual e organizada de forma não fabril - e que assim ainda permanecerá por algum tempo - tem um valor da produção maior que a de algodão.

uso de máquinas, sejam elas movidas pela força humana, pela água ou pelo vapor, quanto em seu fabrico e capacidade de introdução de inovações incrementais. A fiação de fios finos é a que mais rapidamente se toma fabril, em boa medida por razões técnicas. No entanto, durante algum tempo, será parcela menor do valor da produção. Ocorrem mesmo inovações que estimulam o uso da *jenny*, que normalmente era usada movida por força humana.

O capital comercial, seja pela conjugação do comércio com a atividade manufatureira, seja como coordenador do *putting-out*, foi predominante até a década de 1820 na tecelagem, mas também tem presença marcante na fiação. Em 1798, Chapman informa que, em Manchester, 60 firmas “combinavam funções mercantis e manufatureiras.”¹ No período 1807-15, Lloyd-Jones e Lewis mostram haver um crescimento de 26% dos ativos em instalação das fábricas (excluindo máquinas e equipamentos e, portanto, podendo falsear a comparação), enquanto as *warehouse*, justamente as que ou eram apenas comerciais ou conjugavam atividades, apresentam um crescimento de 49%.²

Uma característica marcante da época evidencia o caráter *transitório* pois, ao que tudo indica, há predominância do capital mercantil. O compartilhamento de instalações era extremamente usual, aliás amplamente predominante, mesmo entre as fiações, já que das 90 existentes em 1815 2/3 dividiam instalações, chegando uma mesma instalação a ser usada por até 4 fabricantes, e, apenas 27% possuía prédio próprio. A integração fiação-tecelagem era

¹ CHAPMAN, S. D. Financial restraints on the growth of firms in the cotton industry, 1790-1850, *Economic History Review*, XXXII (1), 1979, p. 52.

² LLOYD-JONES, R; LEWIS, M. J. *Manchester on the age of the factory*, London: Croom Helm, 1988, p. 90-91. A base de informação dos autores é a avaliação do que é chamado *rateable value*, para fins de pagamento da *Poor Law*, que pode eventualmente apresentar variações de critério de avaliação segundo o tipo de atividade. Este valor representa uma estimativa dos ativos, mas exclui o valor correspondente a máquinas e geração de energia, o que pode duplicar o valor dos ativos das fábricas, segundo avaliação da época. Cf. op. cit., pp. 24-31. A vantagem do uso destas informações, ainda que limitadas a Manchester que, convém lembrar, detinha

incomum – apenas 10% das fiações possuíam também instalações, normalmente manufatureiras, de tecelagem. Entretanto, a concentração já era acentuada, pois as empresas com mais de 500 operários ocupavam 44% do total da força de trabalho empregada e as duas maiores, sozinhas, 19,5%.¹ Outro fator que levava à economia de capital fixo, facilitando assim a existência de diversas formas de organização da produção e a presença do capital comercial, era a prática generalizada de converter prédios, basicamente de uso comercial, em industrial, o que era efetuado a reduzido custo.²

A conseqüência, naturalmente, é a predominância do capital variável.³ É a contrapartida, uma mobilidade do capital que implicava em ausência de compromisso com a produção. Há depoimento da época, bem como de meados da década de 20, realçando a vantagem do capital comercial, o qual, em caso de estar um mercado fraco, queima estoque e desloca-se para outra(s) mercadoria(s). Em circunstâncias como esta, em que o custo de saída é

¹ ¼ do total de fusos da Grã-Bretanha, é o fato de cobrir um período extenso com dados homogêneos e razoavelmente confiáveis.

¹ LLOYD-JONES, E LEWIS, op. cit., p. 33.

² CHAPMAN, S. D. Fixed capital formation in the British cotton industry, 1770-1815, *Economic History Review*, XXIII(2), 1970. No entender do autor, no que chama da era de Arkwright, 1770-95, a principal razão para a redução do capital fixo é esta, devido à oferta de instalações que usavam a rôda d'água após os aperfeiçoamentos efetuados por Smeaton. Posteriormente, devido à oferta inelástica de tais instalações, bem como à necessidade de maior investimento em geração de energia, o capital fixo aumentou, independente da escala.

³ Gatrell, citando dois autores, afirma que, antes de 1815 a relação capital fixo/variável era de 25 a 50%, e de 66%, depois de 1834 (GATRELL, V. A. C. Labour, power and the size of the firms in the Lancashire cotton in the second quarter of the nineteenth century. *Economic History Review*, XXX(1), 1977). Chapman, em "Financial restraints ...", estima o valor inferior do citado intervalo pois afirma que, antes de 1815, o capital variável atingia 3/4. Richardson, a partir de informações de duas firmas de fiação, uma delas com dados do Censo realizado por Crompton em 1811 (uma das 3 maiores em número de fusos) observa que a relação capital fixo/variável (computado este enquanto capital de giro líquido, e não apenas estoques, como costuma ser feito, e incluída a depreciação no cálculo do capital fixo) em praticamente todo o período foi razoavelmente maior que 50% para a firma de grande porte e, em alguns anos, inferior a esta percentagem para a firma menor (que no entanto não pode ser considerada uma pequena empresa para os padrões da época). A qualificação é sem dúvida importante, mas não invalida nosso argumento pois estamos a tratar em particular da tecelagem. Cf. RICHARDSON, P. "The structure of capital during the industrial revolution revisited: two cases studies from the cotton textile industry", *Economic History Review*, XLII(4), 1989.

relativamente baixo e pequenas as barreiras à entrada, ou seja, de “extrema mobilidade”, fica decididamente comprometida a capacidade transformadora do capital.

O período 1815-25, apresenta marcantes transformações que merecem ser exploradas em detalhe¹:

1) Os ativos (convém lembrar, exclusive máquinas), aplicados na produção crescem 97%. Mas enquanto o das fábricas eleva-se em 141%, o das *warehouse* reduz-se.

2) Reduz-se também o número de fábricas de fiação, e apenas 40% delas sobrevivem. Não só há uma estreita correlação entre crescimento e sobrevivência como o tamanho médio triplica.²

3) Há uma drástica redução das fábricas que compartilham instalações, de 2/3 para 13%. E a imensa maioria das fundadas no período ou usam integralmente o espaço ou, quando parcialmente, mantendo o restante sem uso.

4) Já com relação às *warehouses*, observa-se um aumento da sua quantidade com queda do tamanho médio. O crescimento do seu número parecendo estar quase totalmente concentrado nas pequenas. A quantidade de *warehouses* que compartilham espaço aumenta de aproximadamente 2/3 para 83%. Portanto, o movimento é integralmente inverso ao que se dá nas fábricas.³

¹ A fonte das informações a seguir são todas provenientes de LLOYD-JONES E LEWIS, op. cit., pp. 106-120.

² O tamanho médio, medido em termos de ativos, cresce 2,7 vezes; como no entanto exclui máquinas, com certeza o crescimento do total de ativos é pelo menos de 3 vezes, já que o investimento em máquinas estava aumentando mais que proporcionalmente.

³ Ainda que prova parcial, a maior flexibilidade e menor risco do investimento em *warehouse* pode ser vista pela sua maior taxa de sobrevivência, ainda que não significativamente superior à das fábricas, em um período de grande instabilidade.

5) Os autores sustentam haver uma convergência entre fábrica e *warehouse* já que, enquanto em 1815 apenas 15% das fábricas possuíam também *warehouse*, no fim do período este percentual eleva-se para 46%. Mas o movimento em sentido inverso, isto é, *warehouses* tornando-se também fábricas, é ainda mais significativo, ou melhor, é maior o número de *warehouses* que se tornam também fábricas, que o de fábricas que passam também a deter *warehouses*.

Há, porém, diferenças marcantes, não apontadas pelos autores. O tamanho médio das fábricas que passam a ser “mistas” é bem maior que o de *warehouses* que se tornam também produtoras, e os ativos das *warehouses* por elas adquiridas representam uma pequena parcela (12%) em relação aos ativos da fábrica.¹ Isto sugere a necessidade da atividade fabril para as *warehouses*, enquanto as fábricas se diversificam marginalmente para o comércio.

6) Por fim, e importante para nosso argumento, é marcante a integração por parte das fábricas de fiação com a atividade de tecelagem, mas uma parcela razoável delas o faz usando não teares mecânicos, mas produzindo sob a forma manufatureira ou sob *putting-out*.

As condições técnicas de produção nem mesmo na fiação atingiram, digamos, um grau de maturidade que permita a “autonomia” do capital, já que a *mule*, apesar de passar por intensos aperfeiçoamentos, ainda continua tendo algumas operações manuais e por esta mesma razão, segundo historiadores da tecnologia, permanece altamente dependente da habilidade dos trabalhadores. Na tecelagem, a difusão do tear mecânico é lenta, e também este só virá a tornar-se uma máquina “em sentido integral” na década de 20, mesmo assim usada sobretudo para tecidos grosseiros, continuando a tecelagem manual a dominar a produção de tecidos finos.

¹ Vale chamar a atenção, para o fato de que as *warehouses* que adquirem fábrica têm ativos aplicados na *warehouse* bem inferiores aos ativos fabris adquiridos, parecendo indicar um elevado poder de acumulação interna.

Lyons estima que em 1824/25, na região do Lancashire, 75% das integradas, isto é, firmas com fiação e tecelagem, operam *apenas* com tecelagem à mão, e é insignificante a quantidade de firmas apenas de tecelagem.¹

A imbricação entre capital industrial e comercial e os intensos e rápidos movimentos de capital entre atividades (aqui entendidas não apenas como comércio e indústria, mas produtos comerciados e produzidos) e, talvez ainda mais claramente, a diversidade de formas de organização da produção, parecem-me provas suficientes de que presenciamos um período de transição. Manufatura, *putting-out* e fábrica conviviam com as mais diferentes formas de organização, herdadas e transformadas do século passado. Tanto podia haver intermediários (*putters-out*), quanto subcontratação entre fábrica e manufatura (onde predominam máquinas manuais), o manufatureiro ou o comerciante podia fornecer matéria prima apenas, (ou esta e os petrechos necessários a tecelagem) ou mesmo alugar o tear.²

Contudo, as transformações continuam a se processar - e a pressão sobre as formas anteriores a se intensificar. O aluguel cobrado aos manufatureiros é feito não só em função do espaço como também das instalações. À medida que as máquinas aumentam sensivelmente de tamanho e de potência, o custo do aluguel torna-se um fator restritivo ao crescimento da manufatura.³ Enquanto manufatureiros e *putters-out* respondem à concorrência com as fábricas rebaixando salário, os industriais, diante da greve de 1824 e, em luta pela derrogação das Combination Law, instam Roberts a desenvolver uma máquina de fiar completamente

¹ LYONS, J. S. Vertical integration in the British cotton industry, 1825-1850: A review, *Journal of Economic History*, XLV(2), jun 1985, p. 420.

² Observe-se que, por esta razão, é difícil fazer uma distinção clara entre manufatura e *putting-out*.

³ A título de avaliação, Lloyd-Jones e Lewis informam, a partir de testemunhos da época, que uma grande empresa teria de pagar £200.000 de aluguel, uma soma astronômica.

mecanizada. Segundo Bhytell, que cita várias manifestações nos anos de 1826-27, inclusive um artigo de McCulloch celebrando o triunfo da máquina, é visível aos contemporâneos que a tecelagem manual está fadada à morte.¹

A revolução industrial é vista como “fácil”, do ponto de vista dos avanços técnicos, por muitos, talvez mesmo pela maioria dos autores. Os argumentos usualmente levantados são: as inovações podiam ser realizadas, e em geral foram, por homens simples (os artesãos são normalmente citados) ou mesmo sem formação técnica alguma; o conhecimento científico não provocou nenhuma inovação; os princípios utilizados nas máquinas eram conhecidos de longa data. A meu ver, estes argumentos devem-se à uma análise superficial da evolução técnica, à visão de uma evolução linear das condições técnicas e também, por vezes sem se aperceberem, por muitos deles considerarem o progresso técnico na indústria têxtil apenas até o fim do século XVIII, havendo até mesmo aqueles que, de forma não claramente explicitada, consideram a esta altura “encerrada” a revolução industrial.

Ainda que seja possível afirmar-se que a maioria dos princípios sobre os quais se baseiam as máquinas têxteis desenvolvidas no século XVIII são anteriores a esse período, sua utilização em máquinas não é, como presumido, algo “transparente e imediato”. O exemplo da *jenny*, uma máquina de fiar concebida por Hargreaves é assaz revelador, inclusive por conter outras questões que trataremos adiante. Hargreaves, como também Crompton, que desenvolveu a *mule*, tenta ao máximo reproduzir os movimentos do fiandeiro. Mas para conseguir isto foi preciso conceber um carro móvel, que segundo Usher é um mecanismo completamente novo.²

¹ BYTHELL, D. *The handloom weavers*, Cambridge: Cambridge University Press, 1969, p. 75.

² USHER, A. P. *Historia de las invenciones mecánicas*, México: Fondo de Cultura Económica, 1941, p. 249.

A *jenny* que, ao que parece, jamais foi mecanizada, aumentou substancialmente a produtividade do trabalho manual revigorando assim a organização da produção não fabril.¹ Em muitos casos, a fase de “maquinização”, isto é, do desenvolvimento do uso de uma máquina - mas com participação importante de operações manuais - diferentemente do que alguns autores, como Danilevsky, que afirma apoiar-se em Marx, enfatizam, não se resume em geral ao trabalho reduzido à força de tração, o que implicaria somente na substituição da tração humana pela potência de uma máquina (especificamente, a máquina à vapor ou a força hidráulica). Há várias operações que são realizadas manualmente — que implicam o *desenvolvimento de dispositivos específicos*. Aliás, em alguns casos, o que acontece é a liberação de parte dos movimentos manuais por dispositivos que, entretanto, permitem o aumento da produtividade do trabalho manual. Deste modo, a “maquinização” aponta em duas direções: aumento da produtividade do trabalho manual, e mecanização, que virá, com o desenvolvimento, matar as formas tradicionais de organização da produção.

A passagem para máquinas em que as operações manuais restringem-se mais à vigilância apresentou problemas ainda mais sérios. O desenvolvimento do tear é ilustrativo. Usher, depois de afirmar que no tear “de 1760-65 já se tinha, (pois) incorporado todos os princípios mecânicos fundamentais da tecelagem mecânica”², reconhece que “a habilidade necessária para fazer o movimento preciso, por meio de um sensível movimento da mão, só é

¹ Danilevsky, afirma que as menores *jennys* existentes no fim do século substituíam o trabalho de 6 a 8 pessoas. DANILEVSKY, K. *Historia de la técnica (Siglos XVIII y XIX)*, Buenos Aires: Editorial Lautaro, 1943, p. 30. Marx, entretanto, ressalta que instrumentos de trabalho específicos, operados manualmente, são desenvolvidos à medida que se intensifica a divisão social do trabalho e, seguindo Ure, posteriormente eles serão “unidos” em um conjunto orgânico. Afirma ainda que, nas primeiras décadas do século XIX, a produção de máquinas passa por um intenso progresso, mas que a maquinaria ganha controle gradualmente, e enfatiza a importância da produção com precisão, das mais diversas formas geométricas, devido a invenção do torno por Maudslay.

² Usher, op. cit., p. 237.

adquirido com grande prática” . E mais adiante, após notar que havia um grande desperdício de força e que as variações de velocidade apresentam sérias dificuldades ao trabalho da lançadeira volante conclui: “a importância destas dificuldades não se manifestou em toda sua gravidade até que se tentou mover mecanicamente a lançadeira substituindo a mão do operário por um mecanismo.”¹ E, como veremos, são necessárias várias inovações incrementais até se chegar, na década de 1820, ao tear mecânico. É isto, como em muitos outros casos, não se deu pelas mãos de artesãos, mas de industriais, inclusive de fabricantes especializados de máquinas.

A sincronização entre os movimentos (força e velocidade) das diversas partes das máquinas, que vão tornando-se sistemas complexos, na qual, portanto, soluções para uma parte envolvem problemas para outras partes, exige um período relativamente longo de aprendizagem e desenvolvimento de mecanismos específicos. Redtenbacher, professor e depois diretor da primeira Escola Politécnica alemã, em um tratado de 1848 sobre construção de máquinas, depois de afirmar que os movimentos mecânicos de uma máquina não precisam estar sempre a serem inventados lembra que “isto no entanto foi necessário quando as máquinas de fiar e a máquina à vapor foram inventadas, pois à esta altura muito poucos eram os mecanismos para efetuar a conversão de movimento que eram conhecidos.”²

A construção das máquinas e a conseqüente necessidade de avanços técnicos na metalurgia e na mecânica é outro condicionante do progresso técnico na indústria têxtil. Somente no início do século XIX passa a ser comum a construção de máquinas de ferro fundido mas, segundo Chapman, apenas a construção com ferro e as inovações na metalurgia permitem o aumento do rápido crescimento de tamanho que ocorre nas duas primeiras décadas

¹ *ibidem*, p. 238-9.

² Citado em KLEMM, F. *A history of western technology*, Cambridge: The MIT Press, 1964, p. 320.

das *mules* e *water-frames*.¹ A comparação entre a simplicidade da máquina de fiar de Arkwright de 1769, e, a máquina de fiar mecanizada de Roberts de 1825-30, mostra uma abissal diferença não apenas pela primeira ser praticamente toda de madeira, enquanto a segunda era integralmente de ferro, como pela complexidade, o que só foi possível pelos avanços em outras atividades.²

Uma questão pouco relevada é a escassez de pessoal técnico, afinal natural em um período de formação. Chapman cita um industrial que, em tom um tanto lamentativo, fala da dependência a um especialista na montagem das instalações de potência, no caso, baseado em roda d'água.³ Ainda que o autor considere exagerada a dependência a um único especialista, reconhece que poucos eram aqueles capacitados a projetar e montar tais instalações. Musson e Robinson, bem como Tann e Breckin, relatam vários casos de dificuldades, inclusive, ao que parece, com perda de negócios e atrasos em instalações, pela firma de Boulton e Watt, valendo notar que a complexidade da instalação das máquinas a vapor – que já no início do século XIX predominantes nas novas instalações em fábricas de fiação – é maior que a das máquinas hidráulicas.⁴ Mas também a manutenção dos equipamentos não deve ser menosprezada. Anúncios de oferta e pedido de emprego, bem como de associação, citadas em Lloyd-Jones e Lewis, mostram a importância do conhecimento técnico.

¹ CHAPMAN, "Fixed capital formation...", p. 239, nota 2.

² Além da importância da criação de uma indústria de bens de capital, sobre o que comentaremos adiante, Usher nota que, ao longo da história dos mecanismos, a ampliação (mudança de escala) apresentou, freqüentemente, dificuldades tão grandes como a invenção em si mesma." Usher, op. cit., p. 236.

³ CHAPMAN, op. cit., p. 241.

⁴ MUSSON, E. A; ROBINSON, E. The early growth of steam power, *Economic History Review*, XI(3), apr 1959 e TANN, J; BRECKIN, M. J. "The international diffusion of the Watt engine, 1775-1825", *Economic History Review*, nov 1978.

II

As primeiras inovações, por sinal consideradas por vários autores como as mais revolucionárias da indústria têxtil no século XVIII, são da década de 1730. São elas a lançadeira volante, devida a John Kay, patenteada em 1733, e uma máquina de fiar, de 1738, de Lewis Paul em associação com John Wyatt, quando é concebido o sistema de roletes para os fusos, o qual virá ser usado por várias máquinas posteriores. Historicamente, a produtividade na tecelagem era bem superior à fiação, sendo necessário de 3 a 5 fiandeiros para fornecer o fio a um tecelão. A lançadeira volante, que de fato só se difunde a partir da década de 1750 mas cujo uso apenas na de 70 é intensificado, amplia este diferencial.

A primeira inovação na fiação que tem ampla difusão é a *jenny* a qual, apesar do pedido de patente ser de 1769, ao que tudo indica foi concebida em 1764. Segundo Mann, não há evidência que jamais tenha sido movido senão por força humana.¹ Seu inventor, Hargreaves, carpinteiro e tecelão, não se beneficia desta máquina, não só por não obter patente como por ter sido disperso seu uso pela produção doméstica e manufatureira. Ela foi usada tanto para fios de trama como de urdidura mas mostrou-se mais adequada para os primeiros. Esta máquina, que segundo Mann, nada deve a experimentos anteriores, a despeito de tentar reproduzir os movimentos do fiandeiro, tem originalmente 8 fusos, logo passando a ter 16, e com as melhorias que vai recebendo, a média de 120, em 1811.²

¹ MANN, J. de L. The textile industry: machinery for cotton, flax, wool, 1760-1850. In: SINGER, C. et alii (eds), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v. IV p. 287.

² SAMUEL Compton's census of the cotton industry in 1811, *Economic History Review*, jan 1930, p. 110.

A máquina de fiar de Arkwright, patenteada em 1769, que logo passa por vários aperfeiçoamentos, aproveita-se de várias idéias anteriores, a mais importante sendo o sistema de roletes de Paul e Wyatt. Inicialmente concebida para tração humana, pouco após sua introdução passa a ser movida por força hidráulica. Arkwright, um comerciante de perucas, é considerado por vários autores tão somente um imitador de idéias, chegando a ser qualificado por Marx de um grande ladrão de invenções. Contudo, seu mérito inicial está justamente em conjugar várias idéias, concebendo uma máquina que para fios grossos e fortes apresentava claras vantagens sobre a *jenny*. Já em 1771 ele monta uma pequena fábrica com as máquinas movidas por força hidráulica, a qual cresce a ritmo acelerado. Outras muitas fábricas serão montadas por Arkwright, em geral em associação. Em 1775 pede nova patente, esta para o sistema preparatório (abrir o fio bruto, bater e cardar), o qual chega à sua forma definitiva em 1785. Segundo Derry e Williams, com isto, “Arkwright dispôs de um processo quase contínuo e movido mecanicamente desde a preparação das mechas até a fiação.”¹ Este ex-comerciante de perucas, que morre em 1792, deixando uma grande fortuna de £500 mil, pode ser considerado o “fundador” do sistema fabril na indústria têxtil e é um exemplo para outros industriais. Para sir Robert Peel, de uma dinastia de industriais na qual até fins do primeiro quarto do século XIX o mesmo Peel comanda um dos maiores grupos industriais, “todos nós tínhamos o olhar fixo nele.”²

De 1774 a 1779, Crompton, filho de um pequeno proprietário de terra e também fiandeiro e tecelão – segundo suas próprias palavras – dedica todo seu tempo e recursos para desenvolver uma máquina que fornecesse um bom fio aos tecelões. Esta máquina, chamada de

¹ DERRY, T. K.; WILLIAMS, T. I. *Historia de la tecnología*. México, D.F.: Siglo Veintiuno, 1987. v. 3, p. 819.

² MANTOUX, P. *La revolución industrial en el siglo XVIII*. Madrid: Aguilar, 1962, p. 219.

mule, que ele usou pessoalmente durante algum tempo, até ser copiada, era assim chamada justamente por ser um híbrido entre as duas outras máquinas: o princípio de roletes de Arkwright e o carro móvel da *jenny*. Com ela obtinha-se um fio ao mesmo tempo fino e forte, capaz de produzir tanto fios de urdidura como de trama, e a flexibilidade de poder variar independentemente as velocidades dos roletes, dos fusos e do carro, permitindo uma maior variedade de fios.¹

Nas duas últimas décadas do século XVIII observa-se a convivência de diferentes formas de organização da produção na fiação, com a ampliação do sistema doméstico na produção de fios finos, usando a *jenny*, e de fios grosseiros, no sistema fabril, com a máquina de Arkwright. A própria *mule*, concebida para o trabalho doméstico, fortalece a pequena produção. No entanto, sua maior versatilidade face às duas outras e os aperfeiçoamentos que recebe, inclusive mecanização, ainda que incompleta, vai aos poucos tornando-a predominante e o sistema fabril, dominante. Em 1790, Kelly, administrador da conhecida fábrica de New Lanark, aplica força hidráulica para o movimento de parte da *mule* e, em 1792, chega a uma máquina automática, que no entanto não tem sucesso por mover uma quantidade relativamente reduzida de fusos. Kennedy, inicialmente um fabricante de máquinas que depois se tornará grande industrial têxtil, em 1793 experimenta mover a *mule* por meio de uma máquina a vapor e em 1800 consegue tornar vários controles, inclusive a variação de velocidade, automáticos. No entender de Mann, esta invenção faz da *mule* uma máquina fabril propriamente dita (*factory-machine*).²

¹ MANTOUX, p. 223, afirma que ela permitiu a criação de uma nova indústria, a de musselinas.

² MANN, op. cit. p. 288. Há divergências entre os autores no tocante à mecanização da *mule*. Mann, p. 280, afirma que, "presumivelmente em torno de 1790", Kennedy faz uma melhoria tornando automático o retorno do carro, mas que ainda era uma máquina movida manualmente. Posteriormente, após afirmar que "os esforços para aplicação de potência mecânica à *mule*, se dá através de vários anos, após 1790", relata como

Entretanto, seu movimento intermitente, algumas operações manuais que exigia e, como lembra Usher, a necessidade que o trabalhador coordenasse os movimentos dos distintos elementos que a formavam, a faz uma máquina que exige um operador habilidoso e experiente. Várias tentativas são feitas ao longo das duas primeiras décadas do século XIX, mas só em 1830 consegue-se ter uma *self-acting mule*, uma máquina de fiar completamente automática.

Esta máquina começa a ser desenvolvida em 1824 por Roberts, um fabricante de máquinas que iniciara-se na profissão como torneiro e ajustador na famosa fábrica de equipamentos de Maudslay, instado pelos industriais da fição após greve de fiandeiros. No ano seguinte obtém patente da *self-acting mule*. No entanto, esta máquina só virá a tornar-se efetivamente comercializável após Roberts, em 1828, em associação com Sharpbidad e Brothers, firma de longa tradição na produção de máquinas, investir £12.000 e conceber o 'quadrant', um mecanismo para transmitir, a velocidades variáveis, os movimentos das diversas partes da *mule*. Todavia, é possível que sua difusão tenha sido lenta, já que a patente é renovada em 1839 por não terem Roberts e Sharpbidad e Brothers obtido nem sequer o retorno do investimento realizado para os aperfeiçoamentos. Talvez mais importante, ela era, mesmo em 1850, usada para até 50 fios, quando a média era 40. Para fios mais finos, a mule de tipo antigo, aperfeiçoada em 1832, pôde ser operada por um fiandeiro até uma capacidade teórica de 1.200 fusos.

A mecanização da tecelagem, como mencionamos, é bem mais demorada que a da fição. Ela se inicia através de Cartwright, um pastor com formação universitária e que manifestara curiosidade em diversas áreas. Vale mencionar que é instigado a buscar uma

exposto acima. Derry e Williams, que também creditam a Kennedy o aperfeiçoamento, acentuam o caráter automático, ainda que incompleto, e datam de 1800. Já Mantoux, afirma que Kelly um industrial escocês, fabrica em 1790 *mules* automáticas. Com certeza trata-se de um exagero de Mantoux, e sobre isto voltaremos a discutir.

“solução” a partir de uma conversa em uma estação de águas em 1784. Segundo seu relato, citado por vários autores, um *gentleman* presente observa que, após a expiração da patente de Arkwright, se incrementaria enormemente a produção fabril de fios e que iria haver problema de mão de obra para a produção de tecidos. Cartwright levanta que a solução estaria em “inventar uma fábrica de tecido” (*weaving mill*); contudo a opinião, unânime, é que isto era impraticável. A despeito de reconhecer sua total ignorância sobre a matéria, pois jamais vira uma pessoa tecer, arguiu que se havia sido construído um *automaton figure* para jogar xadrez, então mais fácil seria fazer uma máquina para tecer.¹ Em 1785, obtém uma primeira patente, seguindo-se diversas outras nos cinco anos seguintes.

Em 1787 o próprio Cartwright monta uma pequena fábrica, com máquinas de madeira que, segundo afirma, produz a contento, a partir de fio do tipo usado em tecido para marinheiro. Não tem, entretanto, sucesso, provavelmente também por questões técnicas e de qualidade do tecido, e acaba por ir a falência. Por volta de 1790, Cartwright é encarregado de instalar uma fábrica de porte para os irmãos Grimshaw, que logo após entrar em operação é incendiada. Como lembra Mantoux, a partir daí ele não consegue novas encomendas, impossibilitando-o de melhorar a máquina.

A máquina de fiar de Cartwright apresentava, no entanto, vários problemas, como: a ação da lançadeira era muito brusca; havia necessidade de pará-la automaticamente quando o fio se rompesse ou acabasse, ou a lançadeira parasse no meio da urdidura; dada a tendência do pano tender a torcer nas extremidades, ela necessitava de algum dispositivo que impedisse que um novo pano tecido ficasse em toda a largura na posição correta; era preciso ainda evitar a

¹ Citado em SMELSER, N. J. *Social change in the industrial revolution*, Chicago: The University of Chicago Press, 1959, p. 131.

alteração da velocidade do cilindro do tear, pois sua circunferência aumentava à medida que o pano era tecido.

A predição do *gentleman* presente na conversação com Cartwright se verifica. O período que vai de aproximadamente 1800 até meados da primeira década do século XIX é a era de ouro do sistema doméstico para os tecelões. Não obstante o enorme aumento da quantidade de tecelões, seus ganhos aumentam em razão da abundância de fio, com preço relativo em queda, chegando um autor a falar que haviam atingido um estado de “riqueza, paz e divindade”.¹ Bythell, a partir de séries de ganho por peça de produtores de um tipo padrão de musselina na localidade de Bolton, calcula que o respectivo número índice cai de 136 em 1795 para 100 em 1805; esta queda prossegue, e para mencionar dois anos (que não são atípicos), o índice de ganho cai para 74, em 1807, e 56, em 1814 – portanto 2/5 do que era 20 antes.²

Juntamente com o sistema doméstico, há uma produção de tipo manufatureira. Smelser realça sua importância afirmando que a produtividade era o dobro do sistema doméstico, e o salário dos trabalhadores mais estável e maior que o ganho dos tecelões no sistema doméstico.³ Se este diferencial de produtividade redundasse em redução equivalente de custo, fica por ser respondido: por que a manufatura não se expandiu a ritmo mais intenso?

¹ Citado em SMELSER, op. cit., p. 130. Cf. fontes compiladas por Smelser, no período 1788-1806, há um aumento de 108 para 184 mil tecelões (p. 137). Ainda que sua quantidade continue em ascensão, a partir daí a taxa de crescimento é bem mais modesta, atingindo um total de 240 mil, em 1820. Bythell, cujo tema é a tecelagem manual, não se compromete com valores precisos mas, através de várias inferências, concorda que a quantidade de tecelões na década de 1820 esteja entre 200 e 250 mil (op. cit. p. 57).

² BYTHELL, op. cit., Apêndice, p. 275. O último ano que apresenta para esta série é 1820, quando o índice, que continuou em queda, é 40. No caso de *calico* (tecido de qualidade simples), da base 100, em 1815, cai para 33 em 1826 e, exceto em 1929, recupera-se um tanto, para voltar a partir de 1838 a este nível. Há indicações de que o ganho do tecelão estava em ascensão até 1797.

³ SMELSER, p. 143, devendo ser observado que suas fontes são Parliamentary Papers de 1835 a 1840. Segundo o mesmo autor, Samuel Oldknow, um dos industriais mais citados, em parte por ter deixado farta documentação, já em 1780 havia montado uma manufatura de tecido, naturalmente com teares manuais e em 1798 punha a venda uma *loom-house*.

Dado, no entanto, que a organização da produção manufatureira, neste caso, não intensifica a divisão do trabalho, e que o sistema doméstico manteve-se amplamente predominante até sua “queda” perante a produção fabril, não parece aceitável que apenas a disciplina manufatureira fosse capaz de provocar tal redução de custo.

A trajetória de Radcliffe é instrutiva para explorar certas questões da industrialização inglesa. Ele inicia suas atividades na indústria têxtil como putter-out de Oldknow e depois torna-se ele mesmo um manufatureiro. Em 1799 e princípio de 1800 torna-se um dos líderes do movimento anti-exportação de fios, que pedia taxas de exportação e chegou mesmo a reivindicar a proibição das exportações. Este movimento, que a despeito de ser relativamente pouco mencionado, foi bastante vigoroso na primeira década do século XIX, teve na Sociedade Comercial de Manchester seu núcleo de aglutinação. Suas manifestações se dão utilizando os mais variados meios, desde panfletos e manifestações públicas até petições ao Parlamento, uma delas chegando a colher 11 mil assinaturas. Os argumentos básicos eram que o fio deveria ser considerado uma matéria prima para a produção de tecido, e que sua exportação estava incentivando a produção continental em detrimento da inglesa. Radcliffe, que é um dos que mais publica panfletos e artigos na imprensa, afirma que todos os putter-outs estavam reduzindo sua produção “à medida que o comércio (a exportação de fio) aumenta”, apoiando um manifesto público que sustentava que “caso não fossem rapidamente tomadas medidas para restringir a exportação, acabaria destruindo a manufatura de algodão do reino.”¹ Porém, logo depois, parece convencido que a saída para enfrentar a questão é a transformação das condições técnicas da tecelagem. Não só forma um clube para troca de experiências e melhoria da tecelagem como ele mesmo investe na melhoria do tear. Em 1803 concebe um tear conhecido

¹ LLOYD-JONES E LEWIS, op. cit, p. 65

como dandy-loom. Ainda que sua intenção fosse o aluguel de teares sob o sistema doméstico, seu uso se dá sobretudo em loom-house, isto é, manufaturas de tecido. Entretanto, é relativamente pouco difundido seu uso. Ao que tudo indica, sua contribuição técnica maior ligou-se ao processo de preparar e de engomar a urdidura, reduzindo sua duração ao desenvolver uma máquina de engomar. Com isto, não apenas facilita o processo técnico da tecelagem como dá um passo para permitir a introdução da mecanização.

Enquanto os capitalistas se põem em uma posição apenas defensiva, atados a formas tradicionais de organização da produção, é natural que a fragilidade esteja presente. Já quando percebem, e usam, o progresso técnico como arma concorrencial, normalmente é desencadeado um processo de transformações como exposto na introdução.

No caso em tela, observa-se ainda algo que poderíamos chamar de socialização dos interesses capitalistas com a formação do referido clube, o que é acentuado posteriormente com o patrocínio, pela mesma Sociedade Comercial de Manchester, de prêmios ao desenvolvimento de máquinas de tecer, sejam mecânicas, sejam manuais. Aliás, não é apenas na têxtil que se observa o que denominaria de centros de promoção e irradiação. A Royal Society é uma grande promotora da transformação do conhecimento técnico, seja através de palestras, de publicações e também de prêmios; formam-se associações para a defesa de interesses específicos que acabam por desembocar no incentivo à melhoria técnica, como os de usuários de máquina a vapor, para medir e trocar informações sobre seu rendimento assim como para a segurança em minas de carvão. Novas publicações técnicas surgem e, ao menos na metalurgia, mostram-se de valia.

Ainda assim, a incorporação de progresso técnico na tecelagem é um processo demorado. Segundo a única estimativa, de Usher, citada por todos os autores, em 1814 havia 2.400 teares mecânicos na Inglaterra, e parece que parte deles não estava em uso. E Kennedy,

um dos grandes produtores de fio, em citação assaz conhecida, afirma em 1815 que, “a tecelagem permanece quase a mesma que era há 50 ou 60 anos atrás.”¹

A queda dos ganhos dos tecelões, em época de alta taxa de crescimento da população e de migração intensa, mas também, ao que parece, de dificuldades técnicas, faz com que o sistema fabril na tecelagem penetre mais lentamente que na fiação. Em 1813, Horrocks, um grande industrial da fiação e depois produtor de máquinas, desenvolve um tear que resolve parte dos problemas citados acima. E Roberts, em 1822, aperfeiçoa-o, ainda que não consiga resolver mecanicamente o problema de rompimento do fio e solucione só parcialmente a questão do pano ficar perfeitamente distendido em toda sua extensão. Outros teares mecânicos são desenvolvidos e em 1841 é concebido um dispositivo que resolve definitivamente este último problema.²

Ainda que a produção de tecidos finos, bem mais acentuadamente que na fiação, apresente problema de produção mecanizada, e só seja incorporada ao sistema fabril na década de 1830 e sobretudo na seguinte, segundo Bythell, a partir da segunda metade da década de 1820 observa-se a lenta agonia da tecelagem manual. A estimativa do parque instalado de teares mecânicos permite constatar o avanço da produção fabril. Em 1820, ele é de 12.150 na Inglaterra; em 1829, de 55 mil (69 mil, se incluída a Escócia); em 1833, são 85 mil. A

¹ Por exemplo, LLOYD-JONES E LEWIS, op. cit. p. 49 e também Bythell, p. 74/5, que acrescenta que Kennedy, após reconhecer que haviam sido feitas várias melhorias na construção do tear mecânico, alerta que apenas a experiência poderia determinar seu real valor.

² Os relatos da evolução do tear são incompletos e problemáticos. Alguns autores mencionam uma melhoria feita por Horrocks em 1803 (não se referem à inovação de 1813, considerada por outros como um novo projeto) mas não informam sobre seu uso, nem mostram claramente a relação com a concepção de 1813. Cartwright, considerado por Mantoux como quem “resolveu” a mecanização da tecelagem, tem sua máquina considerada por outros como uma mera curiosidade e Usher, um dos que analisaram mais profundamente as questões técnicas, afirma que os desenvolvimentos posteriores do tear mecânico não se basearam no de Cartwright (Usher, op. cit. p. 239).

progressão continua, atingindo em 1844-46, 255 mil na Inglaterra e Escócia, contra 100 mil em 1833.

É relatado que fabricantes, mesmo da fiação, em períodos anteriores adequavam sua capacidade de produção à demanda média, de modo a “regular” o montante do capital fixo e utilizá-lo ao máximo, quando a demanda ultrapassava sua capacidade de produção, recorriam ao sistema doméstico. Já no período de intensificação do sistema fabril, isto é, durante e posteriormente à década de 1820, Bythell mostra que em geral aumentava a demanda de teares em períodos de auge. No capítulo seguinte discutiremos com mais vagar o papel da demanda na inovação, a partir de uma perspectiva de longo prazo. Aqui cabe reconhecer que, indiscutivelmente, a demanda estimula a difusão, e mais precisamente neste período, a transformação das condições técnicas e das relações de produção. Motivos para que assim seja: expectativa de lucro ascendente e redução da incerteza; possibilidade dos preços se elevarem; maior facilidade de crédito.

Segundo depoimento de 1834 de um fabricante, as vantagens do tear mecânico eram: a possibilidade de predizer quando poderá ser completado um pedido e o efetivo controle sobre o produto. Havia, a esta altura, aparentemente, preocupação crescente com fraudes provocadas por participantes do sistema doméstico (de acordo com a estimativa de um jornalista, neste mesmo ano, responsável por 1/6 da produção). Todavia, esta era uma questão antiga, que tinha mesmo chegado a motivar várias leis punitivas.¹ Entretanto, sabe-se que as reclamações quanto à qualidade do produto também eram usuais e a mecanização, ao padronizá-la, as resolve.

¹ BYTHELL, op. cit. p. 72. É curioso observar que, segundo o referido jornalista, um tecelão “da velha escola”, ele mesmo vê como necessário o tear mecânico como solução para a fraude. O jornalista reclama uma “mudança para o tear mecânico ou para *loom shops*” (manufaturas com tear manual).

Durante uma greve de tecelões da indústria de lã, em 1828, é noticiado pelo *Manchester Guardian* que “a conseqüência ... será o uso mais intenso de teares mecânicos, para os quais vários manufatureiros já fizeram pedidos de monta.”¹ Segundo Baines, em 1823, “um tecelão manual muito bom, de 25 a 30 anos” apresentava uma produtividade de 28% comparada à daquela de um trabalhador de 15 anos operando um tear mecânico; 3 anos depois, o de 17%; em 1833, este mesmo trabalhador, assistido por uma menina de 12 anos, produzia 8 vezes mais que o tecelão manual.² A fábrica mecanizada, isto é, o domínio do capital industrial, e apenas ela, é capaz de, paralelamente à redução do custo, subordinar a força de trabalho, desqualificá-la e reduzir seu custo de reprodução, e ampliar a oferta de trabalho.

O sistema doméstico, ao contrário, além de entravar a transformação da organização da produção, era um empecilho à formação de um mercado de trabalho capitalista. Apesar de, ao longo do período que vai de 1780 a década de 1820, muitos dos participantes passarem a se dedicar integralmente a tecelagem, ainda é significativa a dedicação parcial ou o deslocamento temporário para outras ocupações. No caso dos tecelões de pequenas localidades, observava-se que no verão a produção têxtil reduzia-se em conseqüência da maior necessidade de dedicação ao trabalho agrícola, aumentando no inverno. Mantoux cita casos de reclamação de membros do sistema doméstico que tiveram as encomendas reduzidas, pois o comerciante ou o manufatureiro as dividia por um número de trabalhadores mais elevado que o necessário, de forma a obter o maior rendimento possível. Uma queda da demanda resultava, pois, apenas em uma redução da produção por trabalhador, pois o ganho do comerciante não dependia tanto das

¹ Citado em BYTHELL, op. cit. p. 73.

² BAINES, E. *History of the cotton manufacture in Great Britain*, p. 240, citado em SMELSER, op. cit., p. 148, chama a atenção para o fato de que o diferencial de produtividade implica em diferencial de custo bem inferior. A produção do tecelão em tear manual é de 1823; supus que sua produtividade tenha se mantido constante.

condições de produção em si, mas de colocar à disposição dos trabalhadores matéria prima e instrumentos de trabalho, o que manifesta uma forma de relação não estimuladora do desenvolvimento da organização da produção. Cabe ainda lembrar que a *Speenhamland Law*, se por um lado permitia um ganho suposto como mínimo para a sobrevivência, estimulava a queda do ganho dos tecelões, e, conforme bem mostrado por Polanyi, só com a sua derrogação, em 1834, pode-se falar em mercado de trabalho plenamente constituído.¹

III

É oportuno contrastar a interpretação que fizemos com a de outros autores; à Hobsbawm daremos particular atenção.

No entender de Hobsbawm a revolução industrial constitui-se de duas fases: a do domínio da têxtil e a do ciclo ferroviário, distinção que em grande medida se deve à primeira ser uma indústria de bens de consumo e a segunda uma indústria pesada. Efetivamente, sua periodização, mais claramente exposta em *Industry and Empire*,² é de um período de “ignição”, 1750-1770, ao qual se segue “compulsoriamente” a fase de dominação da têxtil do algodão. Dadas, entretanto, suas limitações, justamente por ser uma indústria de bens de consumo, não é possível completar a base industrial. Segue-se então um período de crise, não precisamente datado, que se situaria na década de 1830 e parte da seguinte, crise que encontra

¹ POLANYI, K. *A Grande transformação*, Rio de Janeiro: Campus, 1980, cap. 7 e 8.

² As fontes utilizadas para a análise da interpretação da revolução industrial de Hobsbawm, foram: *En torno a los orígenes de la revolución industrial*; *Industry and Empire*, *The Pelican Economic History of Britain*, v. 3, Harmondsworth: Penguin Books, 1968, e, *Las revoluciones burguesas*, as quais passarão a ser citadas respectivamente, de forma abreviada, como: Or, IE e RB. Há pequenas diferenças interpretativas entre estas obras, porém não substantivas. Diria que a tônica em *Indústria e Império* é em geral mais suave. Trechos entre parêntesis e em itálico são expressões usadas pelo autor.

saída através da “*febre ferroviária*”. Esta, por suas relações de interdependência com os setores da indústria pesada, é então capaz de completar a base industrial.

De fato, para Hobsbawm, o decisivo é o período de “*ignição*” já que, dadas as condições econômicas e sociais inglesas, o país de “*economia avançada*” que monopolizasse o comércio internacional seria o primeiro e provavelmente por um certo período, o único, a passar por uma revolução industrial. Além disso, por ser a fase de domínio da têxtil, se constituiria em uma industrialização “*fácil*”, sob todos os sentidos.

Partindo da idéia de que é preciso haver um mercado “*externo*” vasto e com altas taxas de crescimento, pois a primeira industrialização, de natureza capitalista, teria de se iniciar por uma indústria de bens de consumo, a qual não cria seu próprio mercado, Hobsbawm examina as possíveis fontes de crescimento da demanda interna e conclui que, sendo esta incapaz de gerar tal mercado, apenas o mercado internacional poderia fazê-lo. Cada um dos mercados nacionais, isoladamente, é pequeno; assim, é preciso o monopólio do comércio internacional, situação que praticamente a Inglaterra detinha através do mercado colonial, com a escravidão completando o quadro do monopólio colonial.

A tendência natural em uma economia não-industrializada seria o aumento da produção pela ampliação ou modificação da organização da produção tradicional, sem uma revolução do modo de produção. O que levaria os capitalistas a arriscarem seu capital na *aventura* da introdução de novos métodos de produção, a ponto de revolucioná-lo? É preciso que o lucro advindo da introdução de novos métodos seja maior que nas formas tradicionais. Como, entretanto, em sociedades pré-industriais não só o mercado interno de “*massa*” é restrito, como cresce a taxas aproximadamente iguais ao crescimento da população, é preciso o domínio do mercado internacional. Em suma, em uma “*economia de empresa privada*”, pré-industrial, para que haja ruptura com as formas tradicionais, dê modo a que os capitalistas

invistam em novos métodos produtivos que revolucionem o modo de produção, é necessário um mercado vasto, que apresente altas taxas de crescimento, o que só o mercado internacional pode constituir, tendo em vista que o processo necessariamente se inicia por uma indústria de bens de consumo.

A “*ignição*”, provocada “...acima de tudo por esta imprevisível expansão (do comércio colonial) que incitava os empresários a adotar as técnicas revolucionárias”, dado que “a exportação de algodões britânicos aumentou mais de dez vezes” (no período 1750-1769), levou a que os lucros “fossem astronômicos e compensavam os riscos inerentes às aventuras técnicas.”¹ Daí poder-se afirmar que a “revolução industrial foi gerada nestas décadas – posteriores a 1740.”² Ainda que a demanda interna forneça a base para a generalização de uma economia industrial e que o governo, que lembra Hobsbawm tenha sido um fator negligenciado, ainda que essencial à formação e manutenção do monopólio do comércio internacional, à melhoria do transporte marítimo e também ao desenvolvimento da indústria de bens de capital, o papel decisivo foi da exportação. Como afirma o autor, “O país que conseguisse concentrar o mercado de exportação de outros, ou mesmo monopolizar ... por um período de tempo suficiente, podia expandir suas indústrias de exportação à uma taxa que tornava a revolução industrial não apenas praticável para seus empresários, mas às vezes virtualmente compulsório.”³ A Inglaterra foi esse país.

¹ RB, p. 70. No mesmo sentido, escreve Hobsbawm em *Industry and Empire*: “a vasta expansão das exportações depois de 1750 deu à indústria seu ímpeto: entre este ano e 1770 as exportações de algodão multiplicam por 10.” (p. 57). Ou ainda, revelador; “a demanda doméstica cresceu — mas a demanda externa multiplicou. Se uma fagulha era preciso, eis de onde ela proveio.” (ibidem, p. 48).

² ISTO É, p. 54.

³ ISTO É, p. 48.

Acredito, pois, não violentar o pensamento do autor afirmando que, uma vez dada a explosão, provocada pelo comércio internacional, em particular o colonial, segue-se naturalmente a revolução industrial, o que como veremos logo adiante é confirmado pela facilidade e compulsoriedade do progresso técnico.

Vejam os dados que se passa com as exportações no período 1750-70, considerado por Hobsbawm como capaz de levar à “*combustão espontânea*”. A tabela abaixo mostra que apesar de um significativo crescimento das exportações de algodão e, acima de tudo para as Américas e África Ocidental, mas também para as Ilhas Britânicas, portanto o comércio colonial, sua taxa de crescimento para estas regiões é inferior ao total de têxteis e igual a de produtos metálicos. Mais importante, seu valor é ainda extremamente reduzido para poder explicar uma ruptura. Uma evidência indireta pode ser fornecida pela importação de algodão bruto. Deane e Cole informam que o crescimento (devido “aos efeitos da *water-frame* e *jenny*”), das importações de algodão bruto “é perceptível nos 1770, mas foi nos 1780 e 90 que começaram a multiplicar.”¹ No mesmo sentido vai Mathias ao observar que as exportações mostraram um rápido crescimento no período 1700-15; daí até 1730 não se vê nenhuma tendência marcante de crescimento. “Ocorre, então, uma recuperação com um crescimento espetacular entre 1745-60. Declínio e estagnação seguem-se de 1760 a 1783; a partir de quando observa-se um crescimento a níveis sem precedentes a um ritmo sem precedentes. Esta última onda esteve

¹ DEANE, P.; COLE, W. A. *British economic growth, 1688-1959*, Cambridge: Cambridge University Press, 1969, p. 183. Os valores oficiais no período 1750-1763, aumentam não 10 vezes, mas 20, passando de £20mil para £399 mil. Ainda que os autores ressalvem a dúvida existente na relação entre valores oficiais e preços correntes nos anos 1760, reconhecem que o crescimento da produção até então, pode ser explicado pelo crescimento das exportações. Mas depois de 1763, este crescimento afrouxa e apenas nas duas últimas décadas do século, é que o crescimento das exportações voltará a ultrapassar o do mercado interno. O valor médio para a década de 1760, apresentado por estes autores, é de £227 mil, portanto compatível com o valor a que chegou Davis. Os valores oficiais parecem pois indicar a existência de um pico no início da década de 1760 (ibidem, p. 59 e nota).

claramente relacionada com a produção fabril têxtil.¹¹ Outra indicação de que a aceleração do crescimento da produção de têxteis de algodão se dá após 1770, é que apenas em 1774, pelos esforços de Arkwright, é abolida a proibição da produção de *calicos* e reduzidos os impostos. As evidências, não parecem, pois, capazes de sustentar a tese de Hobsbawm.

INGLATERRA: EXPORTAÇÃO DE MANUFATURADOS, 1772/74 E TAXA ANUAL DE CRESCIMENTO NO PERÍODO, 1772/74-1752/54

(valores em mil libras)

	TOTAL			EUROPA			AMÉRICAS E ÁFRICA OC			ÍNDIAS ORIENTAIS			ILHAS BRITÂNICAS		
	VALOR	%	CR	VALOR	%	CR	VALOR	%	CR	VALOR	%	CR	VALOR	%	CR
LA	4186	100	0,3	2630	62,8	-1,1	1148	27,4	5,8	189	4,5	-1,0	219	5,2	8,0
LINHO	740	100	6,5	47	6,4	5,2	681	92,0	6,6	6	0,8	5,6	6	0,8	3,5
ALGODÃO	221	100	5,0	8	3,6	11,0	176	79,6	4,2	0	0,0	0,0	37	16,7	11,8
TOTAL TÊXTEIS	5336	100	1,0	2707	50,7	-1,1	2138	40,1	5,7	198	3,7	-0,8	293	5,5	7,8
METAIS	1198	100	3,6	243	20,3	2,7	755	63,0	4,2	148	12,4	2,9	52	4,3	3,1
DIVERSOS	1843	100	2,5	360	19,5	2,3	995	54,0	3,7	334	18,1	0,5	154	8,4	1,2
TOTAL	8487	100	1,5	3317	39,1	-0,8	3981	46,9	4,8	690	8,1	0,4	499	5,9	4,3

FONTE: DAVIS, R., "English foreign trade, 1770-1774", *Economic History Review*, XV(2), dec 1962, p. 302/3

NOTAS:

1. Valor das exportações estimados a partir dos valores oficiais, os quais são a preços de um determinado ano, indicando pois o volume de exportação. A estes valores foram aplicados os preços correntes. Portanto, os valores acima são uma estimativa das exportações a preços correntes.
2. Europa inclui Norte da África; Américas e África Ocidental; Índias Orientais: áreas margeando a Índia e o Pacífico; Ilhas Britânicas: Irlanda e Ilha do Canal.
3. Exclui re-exportações.

Na verdade, como assinala Davis, o que caracteriza as exportações do período é o imenso crescimento da variedade de mercadorias, desde botões e relógios até coches,

¹ MATHIAS, P. *The first industrial nation, an economic history of Britain, 1700-1914*. 2nd. ed. London: Methuen, 1983, p. 89.

decorrente do crescimento da demanda colonial.¹ O crescimento das exportações de produtos metálicos e diversos “explica” 62% do crescimento do total das exportações no período, e o crescimento da exportação destes produtos para as Américas e África Ocidental, 44%.² Ainda que Hobsbawm mencione este fato, sua tônica, estando ele voltado para explicar a revolução industrial a partir da têxtil do algodão, recai no crescimento destas exportações que, no entanto, “explica” apenas 6,5% do crescimento das exportações no período 1754/52-1774/72. É preciso, entretanto, reconhecer que a proibição e as taxações às importações de tecidos indianos, que operam a *outrance* como uma espécie de substituição de importações, e a destruição da produção indiana possibilitada pelo domínio colonial são fatores de peso para uma primeira fase de montagem da produção doméstica de algodão.³

Este “pré-take-off” não é, todavia, teoricamente imprescindível e o comércio colonial poderia ter provocado a aceleração pós-1780. Nesta altura, faz-se necessário explorar a mudança de posição de Hobsbawm. Em “En torno a los orígenes de la revolución industrial”, cujo original é um artigo publicado em 1961, após defender as mesmas teses que em “Revoluções burguesas” e “Indústria e Império”, apresenta uma tabela na qual se vê que as exportações para a Europa em 1820 representavam 58%, para os Estados Unidos 11% e para a América Latina 25%; em 1840, Europa e Estados Unidos caem, respectivamente, para 29% e

¹ DAVIS, R. English foreign trade, 1770-1774. *Economic History Review*, XV(2), dec 1962, p. 290. Vale notar que o autor afirma que a quantidade de produtos aumenta de tal forma que muitos passam a ser classificados apenas como “mercadorias de diversos tipos”, o que faz aumentar a proporção do item diversos da tabela acima.

² “Explica”, no sentido de participação no crescimento, isto é, o crescimento absoluto destes produtos representa 62% do crescimento do total das exportações.

³ A proibição de importação deve-se à ação dos produtores de tecidos de lã e como mostra Davis, as tarifas de importação, que de início são reduzidas e se elevam ao longo do século XVIII, devem-se mais que tudo às necessidades fiscais, em particular ao financiamento das guerras (DAVIS, R. *The rise of protection in England, 1698-1786*, *Economic History Review*, 19 (2), 1966).

5%, enquanto a América Latina, sozinha, significava 41%. Observa, então, que “a expansão do mercado colonial perdeu temporariamente seu ímpeto durante um período que começa em 1770 e o crescimento das exportações se deveu à demanda europeia. Parece claro, por outro lado, segundo cifras muito interessantes do decênio 1780-1790, que a aceleração do crescimento se deveu ao mercado interno e não às exportações.” Assim, “apesar de certas anomalias que se observam na fase crucial do *‘take-off’* (que merecem uma análise mais profunda...)”, conclui que, “falando em termos gerais, tratam-se de exceções. Nos setores mais dinâmicos da indústria britânica, a força motriz da expansão foi as exportações e especialmente as extra-europeias.”¹ Já em “Revoluções burguesas”, se limita a afirmar que, “em termos mercantis, a revolução industrial pode considerar-se, salvo em uns tantos anos iniciais, por volta de 1780-90, como o triunfo do mercado externo sobre o interno.”² Ainda mais evasivo, em “Indústria e Império” afirma que “de tempos em tempos a indústria (têxtil de algodão) teve de apoiar-se no mercado interno britânico, ...mas a partir de 1790, sempre exportou a maior parte de sua produção.”³

Ainda que as evidências não apoiem a tese do comércio colonial no período de constituição de uma indústria têxtil capitalista, é preciso examinar se as exportações têm papel decisivo. A tabela abaixo mostra que, aproximadamente no período 1790-1810 e na década de 1820, as exportações de fato foram o motor do crescimento da produção, já que representaram 2/3 ou mais, deste crescimento.

¹ Or, p. 109.

² RB, p. 70.

³ ISTO É, p. 58.

GRÃ-BRETANHA: EXPORTAÇÃO DE TÊXTEIS DE ALGODÃO, 1760/1841

(valores em milhões de libras)

PERÍODO	Valor Bruto da Produção (VPB)	Exportação (X)	Exportação/VPB (%)	Participação da X no cresc do VPB (%)	Taxa anual de crescimento do VPB	Taxa anual de crescimento da X
1760	0,6	0,3	50,0	...	...	...
1772/74	0,9	0,3	33,3	0,0	3,4	0,0
1781/83	4,0	n.d.	...	...	18,0	...
1784/86	5,4	0,9	16,7	13,3 *	10,5	9,6 *
1787/89	7,0	1,6	22,9	43,8	9,0	21,1
1795/97	10,0	3,7	37,0	70,0	4,6	11,0
1798/1800	11,1	5,1	45,9	127,3	3,5	11,3
1805/07	18,9	12,5	66,1	94,9	7,9	13,7
1811/13	28,3	17,4	61,5	52,1	7,0	5,7
1815/17	30,0	17,4	58,0	0,0	1,5	0,0
1819/21	29,4	15,5	52,7	-316,7	-0,5	-2,8
1829/31	32,1	18,1	56,4	96,3	0,9	1,6
1839/41	46,7	23,3	49,9	35,6	3,8	2,6

FONTE: Elaborado a partir de, DEANE,P.; COLE,W.A., *British economic growth, 1688-1959*, Cambridge: Cambridge University Press, 1969, sec. ed., p. 185 e 187

NOTAS: * Refere-se ao período 1784/86-1772/74.

- Participação das exportações no crescimento é definido como: $\Delta \text{ exportação} / \Delta \text{ VBP}$, sendo Δ o crescimento entre dois períodos consecutivos.
- Valor das exportações estimados a partir dos valores oficiais. A estes valores foram aplicados variações de preço. Portanto, os valores acima são uma estimativa das exportações a preços correntes.
- Valor bruto da produção proveniente de diversas fontes conforme indicado pelos autores, e com as respectivas ressalvas.

As únicas informações de distribuição geográfica das exportações de têxteis de algodão que foram possíveis obter apontam para valores bem próximos aos de Hobsbawm: em 1820, 50% para a Europa, mais de 20% para a América Latina e aproximadamente 10% para os EUA; já em 1840, a Europa cai para em torno de 25% e a América Latina eleva-se para 35%.¹ Logo, somente a partir de algum momento entre as décadas de 1820 a 1840 o comércio

¹ T. ELLISON, *The cotton trade of Great Britain*, p. 64, conforme citadas em BYTHELL, op. cit., p. 26. Em 1805, Europa e América, representavam 3/4, sendo que apenas o norte e oeste da Europa, 1/3.

colonial e, ao que tudo indica, em particular o comércio com a América Latina, mostrou-se suficientemente dinâmico para ter relevância.

As exportações para a Europa, que mais provavelmente devem ser atribuídas à ampliação da produção inglesa de algodão e ao diferencial de produtividade entre as indústrias inglesa e europeia — portanto fatores relacionados a concorrência internacional — constituíram-se em fator decisivo, justamente em um período crucial da transição da têxtil.¹ Todavia, deve ser recordado que o processo de transformação da têxtil do algodão é lento e que pelos dados da tabela acima não deve ser subestimada a importância do mercado interno.

Ainda que as indicações não permitam sustentar que o comércio colonial tenha sido capaz de comandar o processo de transformação durante praticamente todo o período de constituição e maturação do capital industrial na têxtil do algodão, há que reconhecer sua importância. Ele fornece um mercado cativo que opera como um patamar mínimo, facilitando o desenvolvimento da têxtil inglesa. É provável, além disso, que a margem de lucro neste mercados fosse superior, funcionando pois como um meio seguro para ampliar a auto-acumulação. Até 1790, os principais fornecedores de algodão bruto à indústria inglesa eram países africanos e a Índia, mas a partir daí os Estados Unidos vão se tornando o grande abastecedor. Também aqui o progresso técnico não é estranho a esta transformação. Em 1793, Whitney inventa a cotton-gin (basicamente, uma máquina descaroçadeira para separar as fibras, retirar impurezas e o caroço do algodão), que substitui o trabalho de 50 pessoas. A produção americana cresce no período 1790-1810 de 680 t. para 36,5 mil t. (portanto, uma taxa de crescimento anual de 22% ao longo de 20 anos), e com ela a quantidade de escravos. O brutal aumento de produtividade é acompanhado de violenta queda de preço, o que, aliado à perda no

¹ Convém recordar que vários países também proibiram a importação de *calicos* indianos durante o século XIX.

processo, já elevada, ser extremamente alta para algodões de fibra longa, típicos dos demais exportadores, vai alijando do mercado os demais produtores.

Uma vez ocorrida a “centelha” segue-se inevitavelmente um processo revolucionário, já que os capitais necessários são pequenos, a acumulação interna suficiente para financiar o crescimento e que “de um ponto de vista tecnológico...a revolução industrial britânica não foi particularmente avançada ou científica; e é muito fácil demonstrar que a tecnologia e a ciência necessárias para levá-la a cabo estavam já disponíveis na década de 1690-1700 ou se encontravam ao alcance, sem maiores esforços, da tecnologia deste período (da revolução industrial). Por conseguinte, para explicar a explosão imprevista da revolução industrial não se deve invocar o *deus ex machina* dos descobrimentos científicos ou das invenções técnicas.”¹

Em “Indústria e Império” as origens técnicas são postas em épocas ainda mais remotas, já que “as idéias estavam disponíveis há séculos”,² mas é acrescentado um outro elemento: “...os séculos, desde 1550, haviam fornecido os *homens* com as qualificações necessárias...”³ Estes homens são pequenos empresários ou hábeis artesãos tradicionais, enfim, “homens práticos que direcionaram suas mentes para usar a ciência e a tecnologia que há muito estavam disponíveis...”⁴ E para que não reste dúvida sobre a inevitabilidade do progresso técnico, “como qualquer criança de colégio sabe, o problema técnico que *determina a*

¹ Or, p. 94.

² ISTO É, p. 60.

³ ISTO É, p. 39. Grifo nosso.

⁴ op. cit., p. 60

natureza da mecanização na indústria do algodão, foi o desbalanceamento entre as eficiências da fiação e da tecelagem”.¹

Ainda que não reste dúvida de que os requisitos em termos de capital não apresentem dificuldades sérias ao processo de acumulação, dado seu volume relativamente reduzido,² pois afinal trata-se da transição para uma economia industrial, do ponto de vista técnico o que observamos é que é preciso um longo processo de acumulação de conhecimentos técnicos nas soluções mecânicas e na produção de máquinas. E mais: trata-se de uma transição sob o domínio do capitalismo, portanto, ela mesma de natureza capitalista.

Mesmo que algumas das idéias iniciais sejam de comerciantes de peruca, carpinteiros, enfim, de um “qualquer John Smith”, as inovações incrementais, como mostramos, são obra basicamente de capitalistas, de porte. Mesmo o “inescrupuloso operador”, como Arkwright é qualificado por Hobsbawm,³ é capaz de ir além de sintetizar concepções já existentes apenas após sua experiência capitalista. A razão é, simplesmente, que não basta um “homem prático”, é preciso um capitalista que tenha visão da integralidade do processo de produção e comercialização, e que a dinâmica da concorrência capitalista o leve a procurar inovar de modo a aumentar o lucro. À medida que o processo evolui, o grau de “tecnificação” necessário se acentua, os investimentos necessários às inovações vão num crescendo, e a

¹ ISTO É, p. 58. Grifo nosso.

² O volume reduzido de capital necessário, deve ser visto com cautela, pois como mostra Chapman, em “Financial restraints...”, mesmo grandes empresas têxteis por vezes tinham problemas de financiamento de capital de giro, havendo casos de falência em períodos de recessão, justamente por esta razão. Ademais, os volumes de capital necessários em certas áreas da metalurgia e de infra-estrutura de forma alguma podem ser considerados de pequena monta.

³ ISTO É, p. 59, nota. Hobsbawm observa que Arkwright, contrariamente à maioria dos inventores do período, tornou-se “*muito rico*.” Esta é uma observação corriqueira e Mantoux, ainda que louve a capacidade empresarial de Arkwright, opõe sua riqueza à penúria da maioria dos inventores, que seriam como que benfeitores da humanidade. Mas Arkwright fica rico, justamente por ser capaz de inovar, e não apenas tecnicamente. Como veremos no último capítulo, praticamente todos os capitalistas de máquina-ferramenta enriquecem.

divisão social do trabalho se intensifica fazendo com que cada vez mais as inovações sejam provenientes da indústria de bens de capital – os exemplos de Roberts na mecanização, tanto da fiação quanto da tecelagem, conformam o novo padrão.¹ Entretanto, ao acentuar o caráter “predeterminado” do processo, Hobsbawm perde de vista que a metamorfose da indústria do algodão é um processo lento e complexo, e acaba por fixar-se nas inovações que se dão no século XVIII.

Sobre o papel da ciência, a posição de Hobsbawm parece-nos ambígua. Em determinada passagem, afirma que “...a inovação científica abundou, e foi rapidamente aplicada a assuntos práticos pelos cientistas...”, mas pouco adiante se contradiz: “o primórdio da revolução industrial foi sobretudo tecnicamente primitivo [...] pois aplicação de idéias e mecanismos simples, em geral disponíveis há séculos, em geral de forma alguma dispendiosos...”² Nesta altura, lembraria apenas que de fato não estamos em fins do século XIX, quando a ciência incorpora-se como fator decisivo nas inovações dos setores líderes.

Sustenta Hobsbawm que a indústria têxtil, por ser uma indústria de bens de consumo, tem uma capacidade muito limitada de transformar os demais setores e que, em particular, o departamento de bens de produção só passará por uma revolução com a “febre ferroviária”, ainda que as indústrias química e mecânica recebam significativos impulsos e que a industrialização estimule transformações na indústria metalúrgica e todas estas, em conjunto, na mineração de carvão. Todavia, as transformações são extremamente restritas, podendo-se falar em fábrica, no sentido moderno, tão somente na têxtil do algodão, ainda assim ela mesma de um tipo arcaico, com tamanho de plantas e empresas pequeno. Feita a ressalva que o século

¹ Como mostraremos no capítulo seguinte e mesmo antes disto, o desenvolvimento da máquina a vapor já aponta claramente, talvez de forma ainda mais acentuada, para este novo padrão.

² ISTO É, p. 60.

XVIII é revolucionário, o acento recai, de fato, sobre o caráter “*arcaico*” não apenas da indústria como do sindicalismo a ela associado. O que observa-se é “uma combinação do novo e do antigo... a combinação de uns poucos estabelecimentos mecanizados, e uma massa de trabalhadores domésticos”¹, vale dizer, uma transformação de “*característica transicional*”.

Entendo que a posição de Hobsbawm, deve-se, acima de tudo, à sua perplexidade ante a capacidade de uma “*economia de empresa privada*” romper com a tradição, defrontar o “novo” a ponto de revolucioná-la, especialmente por ser a primeira experiência histórica. Como é possível, em uma economia em que as decisões de investimento são privadas, logo descoordenadas, elas formarem um “bloco integrado” que chegue a revolucionar as formas de produção? É preciso um “impulso externo”.

Uma primeira ruptura se dá com o comércio internacional e, em especial, com o colonial que, permitindo um aumento imprevisto das possibilidades de ganhar dinheiro, faz com que “homens comuns” arrisquem seu capital na aventura técnica; os “*lucros astronômicos*” daí advindos, mediante a acumulação interna, permite o crescimento e a transformação da indústria do algodão. Não obstante, não há um mercado suficientemente atraente (em termos de crescimento e tamanho) para levar aos pesados investimentos necessários em certos setores do departamento de bens de produção. Assim, “*aqueles que empregam seu dinheiro*”, nos elevados investimentos comparáveis (mesmo as das grandes fábricas de algodão) na indústria pesada de ferro, “mais parecem especuladores aventureiros ou sonhadores, que verdadeiros homens de negócio.”²

¹ ISTO É, p. 60.

² Or, p. 85.

Uma segunda ruptura se dá com o ciclo ferroviário. Aqui, creio oportuno uma longa citação, por sintetizar a posição de Hobsbawm: “Qual foi a causa desta explosão imprevista dos investimentos ferroviários? Neste caso, não se pode supor a previsão dos enormes lucros e da demanda ‘insaciável’ que provocaram o *take-off* do algodão... nem a demanda de transporte ferroviário...nem os lucros que se podiam esperar, podem explicar a paixão com que o público investidor britânico se lançou na construção de ferrovias. Nem muito menos pode dar conta da perturbação mental que se apoderou dos investidores durante *booms* especulativos como a ‘loucura ferroviária’ das décadas de 1830 a 1850.”¹

Dada a imensa massa de capital ocioso, a “*febre ferroviária*” permitirá a superação da crise em que a economia inglesa mergulhara na década de 1830 e a constituição do departamento de bens de produção. Entretanto, a indústria do algodão, da qual a sorte da balança de pagamentos inglesa há muito dependia, continua determinando o ritmo da indústria inglesa, tanto assim que, “quando algodão cessa de expandir – como ocorreu no último quarto do século XIX...toda a indústria britânica desfalece.”² Portanto, mesmo a constituição do departamento de bens de produção, apresenta sérias restrições para que a Inglaterra dê o “salto” para o novo padrão, pois sua estrutura industrial, que fora vantajosa na primeira fase da revolução industrial, “em estágios ulteriores do desenvolvimento industrial, quando as vantagens técnicas e

¹ Or, p. 111. Em RB, no mesmo sentido, afirma que o ciclo ferroviário trata-se de “uma paixão aparentemente irracional” (p.89) e que, tendo um “*frenesi especulativo*” se apossado dos investidores, “em 1840 havia sido investido ilusoriamente em ferrovias, £28 milhões e, £240 milhões em 1850 (p. 90).

² ISTO É, p. 69.

econômicas do planejamento e da integração são muito maiores, desenvolve consideráveis rigidez e ineficiências.”¹

A meu ver, o autor mantém-se fixado em padrões mais recentes quando, por exemplo, afirma que será necessário esperar a “tecnologia de meados do século XX para tornar possível a semi-automação ou a automação da produção fabril”² ou, para sustentar que as exigências de uma industrialização tardia são muito mais pesadas,³ reduz a industrialização inglesa a algo “fácil” e natural, já que “minimizou os requerimentos básicos de habilidades, capital, de empresas de grande porte, ou da organização governamental e planejamento, sem os quais nenhuma industrialização pode vingar.”⁴

Efetuar uma análise histórica, com o olhar a partir do presente apresenta sérios riscos de compreensão da “historicidade” de um período, e no caso de Hobsbawm, parece-me que sua análise beira o a-histórico. Entretanto, há de fato questões extremamente difíceis. Se o período é de transição, a partir de que momento pode ser afirmado que um padrão “completou-se”, ainda mais tendo em vista que trata-se do modo de produção capitalista? Como bem lembrado por Hobsbawm, “claro que a revolução industrial não foi um episódio com princípio e fim. Perguntar quando se completou é um absurdo, pois sua essência era que, daí em diante, novas mudanças revolucionárias constituíram sua norma.”⁵

¹ Ibidem.

² ISTO É, p. 67.

³ Ainda que a metalúrgica tenha recebido um impulso de demanda da industrialização, que reconhece ter provocado um acentuado crescimento, afirma que, em princípios do século XIX, “ainda assim a produção permaneceu bem abaixo daquela que hoje considerariamos necessária para uma economia industrial...” (op. cit., p. 71)

⁴ ISTO É, p. 61.

⁵ RB, p. 60.

De certo modo, Mantoux tem uma posição oposta à de Hobsbawm, pois, para aquele, o progresso técnico é peça chave na compreensão da evolução histórica e do predomínio do capitalismo e a dinâmica econômica tem no progresso técnico um determinante de primeira grandeza.¹ Ainda que enfatize o desbalanceamento entre as produtividades setoriais, a evolução técnica não é por este “previamente determinada” nem tampouco “fácil”.

Mantoux, como Hobsbawm, mas de forma mais explícita e elaborada, reconhece o caráter transitório das transformações da indústria têxtil. E não se restringe a observar que “se justapõem os dois regimes de produção sucessivos, limitando-se a fábrica a executar as operações confiadas anteriormente aos operários à domicílio. ... a tecelagem à mão subsistiu ao lado da fiação mecânica” ou que “assim se entrecruzavam estreitamente mesclados a outras características da antiga e da nova indústria.”² Mas também verifica que certas inovações, e cita o caso da *mule*, pode prolongar a vida da pequena produção, portanto de formas de produção anteriores. Ao observar que a queda do salário dos tecelões pode ter representado um obstáculo à mecanização, lembra que isto necessariamente é temporário, podendo se dar em “*indústrias incompletamente transformadas*”.¹

Ainda assim, Mantoux sustenta que, em fins do século XVIII, a fábrica já é dominante. Mesmo que venha em capítulo posterior a celebrar a máquina a vapor como ápice técnico da revolução industrial, quando analisa a indústria do algodão conclui que, é “durante este período decisivo quando se delineia, em sua linhas gerais o sistema de fábrica. O período

¹ Vale citá-lo, pela clareza com que expõe a idéia de interdependência. “Cada novo invento, aperta mais o laço que unia entre si as diferentes operações técnicas; e à medida que sua solidariedade se torna mais estreita, o progresso de cada uma delas tem sobre todas as demais uma repercussão mais imediata e mais profunda. Assim se determina e se acelera seu movimento comum, este movimento contagioso... (MANTOUX, op. cit., p. 231)

² op. cit., p. 236-7.

seguinte — do vapor — já o encontrou formado e talvez tenha modificado menos profundamente do que o que se estaria tentado a crer.”² No que diz respeito mais estritamente à evolução das condições técnicas, Mantoux parece-me taxativo ao afirmar, com relação ao tear de Cartwright, que “daí para a frente já não falta nada de essencial: neste ramo particular da indústria o advento do maquinismo é um fato cumprido.”³

Se a abordagem de Hobsbawm, periodizando a revolução industrial em duas fases, possui os méritos de realçar a capacidade da crise gerar um novo padrão e diferenciá-los em termos de liderança da indústria de bens de consumo ou do departamento de bens de produção, apresenta os problemas de criar uma espécie de vácuo histórico (o que é transparente no tratamento que dá à ciência) e, ao manter-se preso a padrões recentes, torna a revolução industrial natural, predeterminada, “fácil”, arcaica, desdenhando as interações. Já Mantoux, cuja análise, convém lembrar, não apenas na têxtil, mas também na metalurgia e na máquina a vapor, não vai além de fins do século XVIII, considera definido, e portanto dominante, um novo padrão já no final do século.⁴

Estamos novamente frente a difícil questão: mudança e continuidade, que discutiremos no restrito âmbito da indústria têxtil. Não é imaginável que a revolução industrial inglesa, o primeiro processo de industrialização, pudesse se dar de um só golpe. Ao longo do período entre aproximadamente 1780 e 1830 presencia-se uma acumulação de forças,

¹ op. cit., p. 229.

² Op. cit., p. 237.

³ Op. cit., p. 230.

⁴ No entender de Mantoux, a distância entre a fiação (enquanto fábrica) e a produção doméstica, que coexistiam entre 1780-1800, era maior que entre a fábrica de então e a atual. (op. cit., p. 237) Esta passagem, parece-me ilustrativa, pois confirma sua periodização e a transição, e, mostra o flagrante contraste com Hobsbawm.

capitalistas, em que há uma recomposição da produção manufatureira e doméstica, que vai “vagarosamente” sendo destruída à medida que o progresso técnico vai levando ao pleno domínio e predomínio do capital, o que só é possível pela existência de um conjunto solidário de inovações em diversas áreas. Enquanto Hobsbawm menospreza a transformação das condições técnicas, Mantoux “apressa-as”.

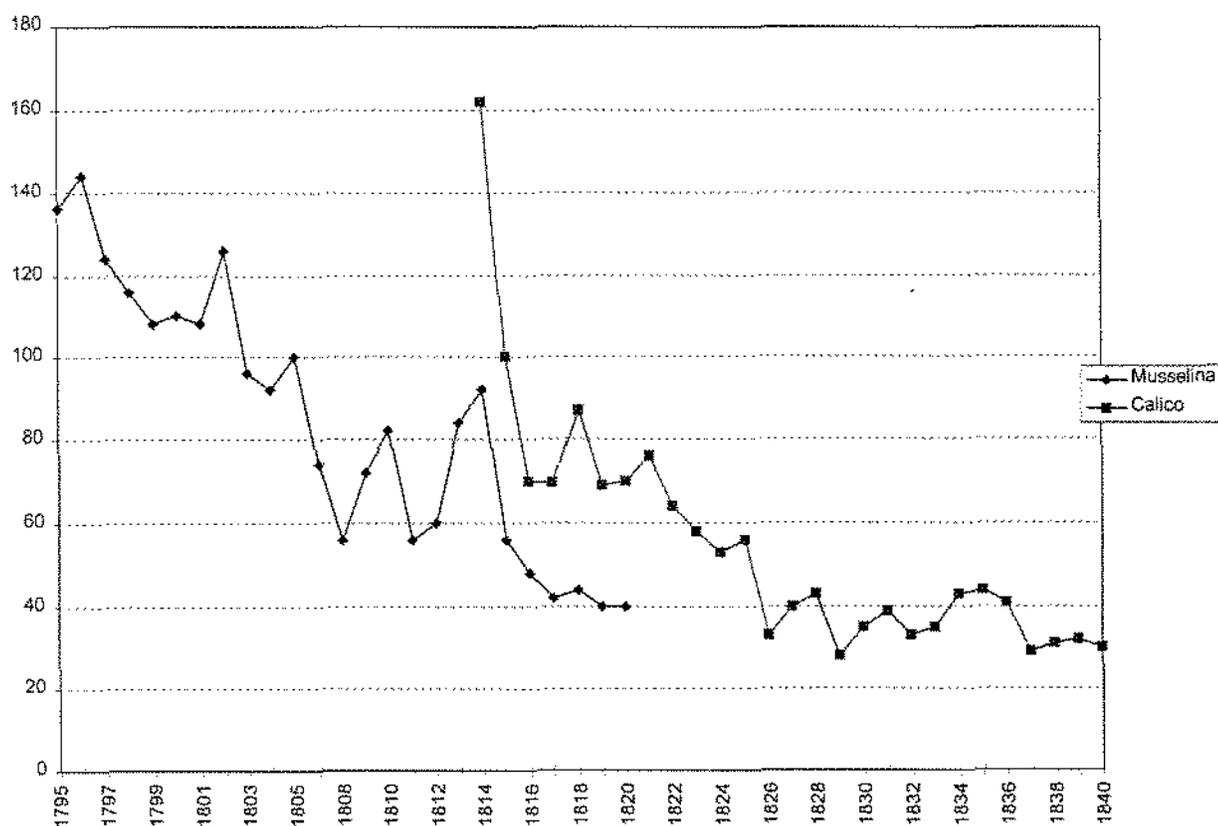
Na maior parte do século XVIII o desenvolvimento da indústria têxtil é marcado pela utilização de máquinas toscas, de madeira, e por um aumento da produtividade mesmo da pequena produção caseira, mas que se dá de um só salto, ao serem introduzidas novas máquinas no processo produtivo. Já nas duas últimas décadas vai se delineando o domínio do capital industrial na fiação e é intensificada a incorporação do progresso técnico, o que, aliado de uma forma geral à expansão do capitalismo, impulsiona a produção de tecidos acabados, esta ainda sob o domínio do capital comercial e manufatureiro.¹

Ainda que o capital comercial tenha a flexibilidade observada antes e, portanto, um descompromisso com as condições de produção (logo, limites técnicos estreitos) está sujeito à concorrência. A concorrência entre estes capitais, inclusive o manufatureiro, aliado ao crescimento demográfico e à expulsão das terras dominiais, provoca a queda do preço da peça de tecido e, portanto, do rendimento do tecelão. Já vimos que, no transcorrer de vinte anos,

¹ Uma inovação que provoca notável transformação neste período é o branqueamento utilizando materiais sintéticos, um dos raros exemplos em que há conexão imediata entre avanço do conhecimento científico e progresso técnico, com a participação direta de Bertholet e a contribuição de outros químicos franceses. Von Tunzelman, ao discutir o desequilíbrio tecnológico e lembrar que o desequilíbrio entre fiação e tecelagem constituir-se-ia em um caso típico do que Rosenberg denomina seqüência compulsiva, cuja direção pode entretanto depender de fatores vários, afirma que o tempo de branqueamento de 6 a 8 meses caiu para dias e mesmo horas. Todavia, estranhamente, ressalta a economia de terra e não à redução do tempo. (VON TUNZELMAN, N. *Technology in the early nineteenth century*. In: Floud, R. e McCloskey, D. (eds.), *The economic history of Britain since 1700*; 2ª ed. V. I: 1700-1860. Cambridge University Press, p. 293). Outra inovação de grande relevo, como notado por Hobsbawm, foi a utilização de iluminação a gás a partir de 1805, estendendo assim a jornada de trabalho.

entre 1795 e 1814, o preço da peça de musselina cai para menos de metade. O mesmo se dá para os *calicoes*, um tecido grosseiro, o mais comum. No período 1815/20, único para o qual dispomos de séries para os dois tipos de tecido, praticamente a mesma queda, de 30%, se dá em ambos. O preço do *calico*, que é basicamente estável no período 1816/21, começa um movimento de queda, atingindo valores extremamente reduzidos nos anos de 1826 e 29. Entre 1820 e 1827 (neste último ano o preço é um dos maiores após o início de seu movimento de baixa) a queda é de mais de 40%.¹ Com isto os tecelões acabam por ter um rendimento inferior ao salário dos trabalhadores das fábricas têxteis.

Índice de preço corrente da peça de algodão



¹ Cf. dados de BYTHELL, op. cit., p. 99 e 105.

FONTE: BYTHELL, D. *The handloom weavers*, Cambridge: Cambridge University Press, 1969, p. 99 e 105.

Na fiação, com mais razão, dada a concorrência entre capitais industriais, o mesmo se dá. Tomando como indicador da margem bruta a diferença entre os preços do fio e do “fio bruto” (*twist*), observa-se uma queda, entre 1817 e 1821, de 21,3%, e entre 1817 e 1832, de 59%.¹ Daí que um relatório de um sub-comitê da Câmara de Comércio e dos Manufatureiros de Manchester afirma, em 1822, a propósito da têxtil de algodão, que, “(os) lucros estão reduzidos em todos os artigos e grande atenção e habilidade, assim como retorno rápido, são requisitos para obter até mesmo uma pequena remuneração pelo capital e risco.”² Uma reação dos capitalistas da fiação é integrar-se para a frente, passando a produzir também tecidos, conforme vimos anteriormente. Mas também é significativo, como observamos, o movimento de integração seja do capital comercial seja do manufatureiro, tornando-se assim capitais industriais. E a dar crédito a Smith, sócio de Owens e um grande comerciante que também deslocara capital para a produção fabril, o movimento é acentuado, pois afirma ele perante um comitê, em 1832, que “mais da metade dos manufatureiros manuais de *calico*, que não incorporaram a fiação a seu negócio, faliram durante o tempo que tenho estado em Manchester.”³

¹ LLOYD-JONES, R.; LEWIS, M. J., op. cit., p. 126 nota 30, cf. dados de Gayer, et al., *The growth and fluctuations of the British economy*, v. 1, p. 155.

² op. cit., p. 104.

³ op. cit., p. 122. É de esperar entretanto, uma “vantagem absoluta” do capital industrial, em particular relativamente ao manufatureiro, não apenas pela detenção do capital em si, mas também pelo domínio do processo técnico e da organização da produção fabril. Outro grande obstáculo a estes capitais é, como vimos, o aluguel, que era cobrado não apenas em função do espaço, mas da potência instalada. Daí que Bythell afirme que aqueles que mais investem em máquinas de tecelagem são os próprios capitalistas da fiação (BYTHELL, op. cit., p. 66). Vale observar que, as máquinas de tecer eram tão intimamente relacionadas a existência de um motor central movido a vapor que eram chamadas de *steamloom*.

O vigor do processo de transformação capitalista pode ser mostrado também pelo aumento do capital necessário, que para as maiores fábricas, salta desde o fim do século XVIII de £10 mil para 8 vezes mais em 1830.¹ A depreciação do capital fixo passa a ser parcela importante dos custos, já que máquinas adquiridas em 1826 são vendidas 5 anos depois por menos de 1/5 de seu valor de compra. Além disso, confirmando de maneira cabal a natureza capitalista desse processo, o preço dos teares mecânicos cai neste período para 5/8.²

A flexibilidade do capital comercial ou manufatureiro pode obscurecer a complexidade da organização social da produção, a qual se acentua com o incremento da variedade de mercadorias, com as flutuações dos mercados e mesmo com a quantidade produzida. Sob o sistema doméstico o ciclo produtivo atingia 7 meses e a necessidade de estoques, amplificada pelas restrições de transporte, elevava sobretudo o capital variável. O tear mecânico - ou melhor, a organização capitalista da produção - além de alterar por completo estas condições, provavelmente com aumento da rotação do capital, que sempre preocupou grandemente os capitalistas contemporâneos, vem permitir o controle sobre a qualidade e o prazo de produção, bem como a redução do ciclo produtivo e do capital variável, naturalmente tendo em contrapartida uma elevação do capital fixo.

O crescimento do sistema de *putting-out*, particularmente em finais do século XVIII (portanto, em última instância, a expansão do capitalismo) introduz o trabalho feminino e, em menor medida, o infantil, no universo da produção mercantil. Contudo, é com o desenvolvimento da fábrica, e mais especificamente com o progresso técnico, que o trabalho feminino e infantil tornar-se-ão parcelas crescentes, neste período, da força de trabalho.

¹ GATRELL, op. cit., p. 103.

² BYTHELL, op. cit., p. 80.

Parcelas estas com salário inferior ao do trabalhador masculino adulto e menor capacidade organizativa e reivindicatória (quando não nula), fornecendo assim ao capital um meio de opor-se à organização dos trabalhadores e de amplificar a subordinação do trabalho.

A mecanização na década de 1820, que só então ganha impulso na tecelagem e que torna o capital industrial de fato independente da habilidade manual do fiandeiro, aumenta o contingente da força de trabalho seja pela incorporação do trabalho feminino e infantil, seja em geral pela desqualificação do trabalho, com conseqüente redução do tempo para o domínio das tarefas e de seu custo de reprodução. Eventuais tentativas dos trabalhadores de lutar contra as regras impostas pelo capital, por exemplo em relação à contratação, e mesmo a maior capacidade de organização do trabalhador, manifestada através de greves, podem encontrar no progresso técnico uma resposta.¹ Enfim, o capital de fato consegue subjugar plenamente a força de trabalho, levando como diz Marx, as condições de trabalho a subordinarem o operário, com a maquinaria tornando esta inversão uma realidade técnica.

A evolução do capitalismo e a intensificação da concorrência obrigam os capitais a incorporarem o progresso técnico, que acaba por tornar-se o único meio de reduzir custos e de não esquecermos, durante certo intervalo de tempo, elevar o lucro, asfixiando as formas não capitalistas de produção. Isto era claro para capitalistas da época, como Houldsworth, que afirma em 1833, perante o *Select Comitee on Manufacturers and Commerce*, que “tem ocorrido uma crescente demanda de maquinaria; por exemplo, as fábricas têxteis,

¹ Lloyd-Jones e Lewis, por exemplo, reproduzem as reclamações de um industrial, ainda na década de 1820, com os obstáculos impostos pelos trabalhadores para a contratação de operários sem formação em atividades correlatas, denotando assim um comportamento semelhante ao das corporações. (LLOYD-JONES, R.; LEWIS, M. J. op. cit., p. 174). O caso citado anteriormente, de incitação para que Robertson desenvolvesse uma máquina, é o mais conhecido, mas de forma alguma o único, nem mesmo o único caso que tenha este tipo de resposta clara dos capitalistas.

estavam com seus lucros tão baixos, que se viram obrigadas a aplicar mais capital, de forma a conseguir o objetivo de levar ao mercado produtos mais baratos, isto eles só puderam fazer com maquinaria aperfeiçoada.”¹ Como vimos logo acima, ocorre uma violenta queda do preço das peças pagas aos tecelões em 1826. Justamente em 1825/6 ocorre a primeira crise, considerada por vários autores, inclusive Marx, a primeira crise tipicamente capitalista.² O que é tipicamente capitalista sela a sorte das formas pretéritas. Agora não mais serão possíveis reações como na primeira metade da década de 1820, quando os pequenos produtores de fio reagiram a uma inovação, o *long-spindle mule* (uma *mule* com número bem superior de fusos), reduzindo o salário.³

¹ LLOYD-JONES,R.; LEWIS, M. J op. cit., p. 173. Houldsworth, além de grande fabricante têxtil, inova a máquina de cardar em 1825, com o movimento diferencial. A máquina de cardar era essencial para fio finos.

² Marx, no posfácio à segunda edição alemã, data a grande indústria de 1825, “já que é com a crise de 1825 que se abre o ciclo periódico de sua (grande indústria) vida moderna.” (MARX,K. *Le capital*, T. I. livro 1, p. 24).

³ LLOYD-JONES,R.; LEWIS, M. J op. cit., p. 93, que citam vários autores confirmando este comportamento dos pequenos produtores. Nada impede, não obstante, a existência de diferenciais de salário, em razão de diferenciais de produtividade em uma estrutura heterogênea. Bythell, com propriedade, data a morte dos tecelões “independentes” de 1825, sendo uma das duas causas a crise. Contudo, sua argumentação é que não mais será possível a recuperação de seus rendimentos, em virtude das flutuações que passam a ocorrer. Mas estas são justamente incipientes à natureza do capitalismo.

CAPÍTULO II

MÁQUINA A VAPOR

Neste capítulo, no primeiro item, faremos um relato do desenvolvimento da máquina a vapor (MV), seus obstáculos, sua longa duração e necessidades de capital, bem como das figuras de James Watt, seu inventor, e Matthew Boulton, o qual poderia ser considerado um típico empresário schumpeteriano. Ainda neste item, acentuamos alguns pontos, tais como inovação “primária” e papel das inovações incrementais, complementaridades técnicas e interação entre aspectos econômicos e técnicos, que serão retomados no terceiro item, de uma ótica mais analítica, tanto de um nível relacionado ao progresso técnico, quanto de uma discussão histórica. No último item, apresentamos uma síntese e as conclusões.

Anteriormente à máquina a vapor, as fontes de energia existentes eram de origem orgânica, humana ou animal, e artificial – moinhos ou rodas hidráulicas, os quais tinham uma potência máxima de 10 CV e limitavam a instalação industrial à proximidade de certos tipos de curso d'água; as que utilizavam a força eólica eram de potência ainda menor. A atividade que maior restrição sofria era a indústria extrativa mineral, sobretudo a do carvão. Isto porque, à medida que aumentava sua produção, ao ter de ser aprofundada a jazida, maiores quantidades de água, a profundidades crescentes, tinham de ser retiradas. Tendo cada equipamento capacidade máxima efetiva de elevação de nove metros e potência limitada, era preciso conjugá-los utilizando reservatórios intermediários.

As primeiras máquinas, usadas industrialmente depois de 1698 – que não por acaso foram denominadas por seu próprio inventor, Savery, de “amigo do mineiro”, pois melhoraram as condições extremamente precárias de trabalho do minerador –, eram de fato máquinas de pressão atmosférica, pois tão-somente tiravam partido da diferença entre a pressão local e a

atmosférica para mover um êmbolo. Em 1706, foi instalado um equipamento, desenvolvido por Newcomen (utilizado sobretudo em minas de carvão mas também nas de estanho e cobre), para o abastecimento de água, e secundariamente para bombeamento, em canais de navegação e para a elevação de água, possibilitando a operação de uma roda hidráulica. Vale dizer que se tratava de fato de uma bomba, e não de uma máquina que transformava a energia calórica do vapor em energia mecânica, esta sim, efetivamente uma MV. Contudo, o entrave mais sério da MV constituía seu rendimento, que mesmo duplicado, em consequência dos estudos teóricos e práticos realizados por Smeaton a partir de 1767, era de apenas 1% do calor gerado pelo combustível.

James Watt, o inventor da MV, era neto de um ex-professor de matemática e filho de um arquiteto e construtor naval. Em sua infância já construía protótipos de máquinas na oficina de seu pai. Tendo se dedicado à fabricação de instrumentos de laboratório, tem sua licença caçada por ser aprendiz. É então contratado pela Universidade de Glasgow, que lhe entrega uma oficina onde pôde dedicar-se à manutenção e fabricação de instrumentos de laboratório.

Na universidade segue alguns cursos, dentre os quais o de Joseph Black, sobre quem voltaremos a comentar. Em 1763-64, ao ter de reparar um modelo reduzido da máquina de Newcomen que era utilizada em cursos, toma contacto com a máquina que antecede a sua.¹ Segundo Scherer, algumas características da bomba de Newcomen intrigam Watt, e a mais importante delas é “a inesperada quantidade de vapor consumida”.² Após vários testes, sua

¹ Watt já tivera sua atenção atraída para questões próximas, pois em 1761-62 realizara experimentos sobre pressão, utilizando o digestor de Papin, uma das primeiras tentativas de construir uma MV.

² SCHERER, F. M. *Innovation and growth : Schumpeterian perspectives*. Cambridge : The MIT Press, 1984. p. 9.

curiosidade é despertada para o fato de o cilindro que recebe vapor precisar ser também resfriado de forma a fazer a condensação, resultando pois em ineficiência, já que em um ciclo precisava estar quente e noutra frio. Outra fonte de ineficiência é que Newcomen, para solucionar o ajuste do êmbolo ao pistão, dada a impossibilidade de fabricação de peças com a necessária precisão, dá uma solução que ao entrar vapor e portanto ser esquentado o cilindro, este devia estar em contacto com água fria. Após alguns meses de ensaios e de troca de idéias com várias pessoas (o que caracterizará todo o desenvolvimento posterior da MV), Watt chega à idéia do condensador separado, parte nuclear da MV, e nesta altura percebe que “[...] se quer-se impedir que o ar esfrie o cilindro durante a descida do êmbolo, era absolutamente necessário empregar como força motriz, não a pressão atmosférica, mas o vapor.”¹

Com esta solução, além de resolver o problema da ineficiência, torna do ponto de vista operacional uma efetiva MV — ainda que a esta altura não esteja posto seu uso como força motriz, o que só virá a ocorrer quando através de novas soluções consegue transformar o movimento pendular do balancim em movimento circular. Tanto assim, que quando do pedido de patente, denomina de “novo método para reduzir o consumo de vapor e combustível nas máquinas de fogo”, ou seja, estava pensando, de forma modesta, devemos reconhecer, em termos de melhoria de um equipamento já existente, que era não mais que uma bomba para aspiração de água.

Watt constrói então um protótipo, e começa a realizar testes. Pouco tempo depois, manifesta Watt que, a menos de pequenos pontos a resolver, sua “invenção estava completa, no

¹ citado por MANTOUX, P. *La revolución industrial en el siglo XVIII*. Madrid : Aguilar, 1962. p.

que diz respeito à economia de vapor e combustível [...]”¹. Dado que algumas vezes assim declara, podemos dizer que estava convicto. Entretanto, distintamente das inovações da indústria têxtil, os recursos necessários para o desenvolvimento da MV virão mostrar-se bastante elevados, e as dificuldades, conforme reconhecido pelo próprio Watt, só virão a ser manifestas posteriormente, quando realizados testes propriamente industriais. Após colocar suas economias neste empreendimento e se endividar, Watt é obrigado a abandoná-lo e a se empregar.

Em 1764 ou 1765, Watt é apresentado, por Black, a Roebuck (um industrial da metalurgia), o qual via na MV uma forma de resolver seu problema de retirada de água de minas profundas que acabara de obter a concessão. Watt então se associa a Roebuck, este salda suas dívidas, obtendo o direito de reter 2/3 dos lucros. Em 1769, instado por Roebuck, pede, e é concedida, patente para o condensador, ambos fabricam então uma primeira máquina. Contudo, por deficiência de concepção e por dificuldades de fabricação, ainda que dela tenha se encarregado uma das mais qualificadas metalúrgicas, praticamente não é usada. Seu sócio entra nessa mesma época em sérias dificuldades financeiras, sendo Watt mais uma vez forçado a interromper seu desenvolvimento e a voltar a se empregar.

A falência do sócio de Watt, em 1773, faz Boulton – outro industrial da metalurgia, que já havia manifestado anteriormente interesse no desenvolvimento da MV, mas as condições impostas por Roebuck o fizera desistir – voltar à carga. Boulton oferece a Roebuck,

¹ citado em SCHERER, p. 10. Vale observar que os trabalhos de Black, com quem Watt veio a ter contacto íntimo, apontam em direções que implicarão em novas teorias, relacionadas aos princípios básicos da MV. Contudo há uma polêmica na literatura sobre o papel do princípio do calor latente no desenvolvimento da MV. Mas o próprio Watt, afirma: “Ainda que a teoria do Dr. Black sobre o calor latente não tenha sugerido minha melhoria na MV, o conhecimento das várias maneiras pelas quais teve a amabilidade de me comunicar e os modos completos de raciocínio e de experimentação de que deu exemplo, certamente facilitaram o progresso de minhas invenções.” (citado em Fleming, D. Latent heat and the invention of the Watt engine, *Isis*, XLIII, 1952, p. 5)

em troca de saldar as dívidas que este contraíra com ele, a cessão do contrato com Watt, o que é aceito.

Em meados de 1774, Watt inicia sua sociedade com Boulton. Vale mencionar que este inovador e original empresário estava também interessado na MV como fonte de energia para sua empresa metalúrgica, e já tendo inclusive feito consultas a cientistas da área, tinha consciência das dificuldades que se antepunham ao seu desenvolvimento. A máquina original é transportada para a fábrica de Boulton & Watt (B&W) e já no final desse ano, depois de reprojetaada, desmontada e refeita com o concurso de operários habilidosos formados por Boulton, é posta a funcionar.

Carta de Boulton a Watt, de 1769, rejeitando a oferta de Roebuck para produzir máquinas para três condados, é valiosa por mostrar sua clareza das necessidades do empreendimento e seu desenvolvido senso empresarial. Diz ele que sua motivação era “ter gostado de si, e amor a ganhar dinheiro com um engenhoso projeto.” A razão alegada para rejeitar a proposta de Roebuck é que “minha idéia é montar uma 'fábrica' (manufactory) próxima à minha [...] a partir da qual forneceríamos para o mundo inteiro máquinas de todos os tamanhos [...] não vale a pena fazer apenas para três condados ...”. No entanto, “penso que para tirar de seu invento o melhor partido possível, é preciso muito dinheiro, uma execução esmerada e relações comerciais extensas.” Para tanto, “o único meio de assegurar-se o êxito que merece é não deixar sua execução à turba de mecânicos empíricos que, por ignorância, por falta de experiência ou carência das ferramentas apropriadas, não fariam provavelmente senão um mau trabalho [...]. Poderíamos recrutar e instruir um certo número de operários escolhidos; poríamos em suas mãos ferramentas muito melhores, o que não valeria, caso se tratasse de construir apenas uma máquina; obteríamos uns 20% de economia na sua execução, e tanta

diferença de qualidade da obra, quanto a que pode existir entre a de um ferreiro e a de um fabricante de instrumentos científicos.”¹

O que busca Boulton? Lucro. Mas para isso será preciso arriscar elevada quantia. Além do que é preciso produzir em quantidade, para o mercado mundial, de modo que a escala compense o uso de utensílios de trabalho especializados. Isto permitirá economias de escala e exigirá intensa atividade comercial, de maneira que esta produção, a qual deve ser esmerada, seja colocada no mercado, o que torna necessário a seleção e treinamento de operários.²

Como vimos, na bomba de fogo de Newcomen, a solução encontrada para manter pistão e cilindro justos envolvia o desperdício de energia. A concepção de Watt, se eliminava esta fonte de desperdício, gerou mais uma dificuldade a enfrentar, pois as máquinas-ferramenta disponíveis não permitiam a precisão de usinagem necessária. Segundo a avaliação de Smeaton, um inovador e profundo conhecedor da área, "não existiam nem ferramentas, nem homens, que pudessem fabricar máquina tão complexa com a precisão necessária".³

Essa situação é alterada apenas em 1774, quando Wilkinson (outro empresário inovador da indústria metalúrgica) desenvolve um novo equipamento para usinar peças de canhão, o qual, recebendo algumas adaptações, permitiu usinar cilindros nas maiores dimensões necessárias à MV e com a precisão requerida. Coincidentemente, Wilkinson veio a

¹ SCHERER, p. 13 e MANTOUX, p. 313.

² Vejam-se os três primeiros capítulos da *Riqueza das Nações*, que contém o núcleo do pensamento de Adam Smith, o qual será publicado alguns anos depois, em 1776, e verificar-se-á grande semelhança das idéias de Boulton com este núcleo, ainda que não aquelas mais abstratas, mostrando como espelhava o "espírito da época". A clara percepção que Boulton tinha das características fundamentais do capitalismo, que entendemos ser inimaginável ocorrer, digamos, 100 anos antes, por parte de um capitalista, do mesmo modo que o "nascimento" da economia política, com Adam Smith, parece-nos constituir provas indiretas de que se deva datar o capitalismo da segunda metade do século XVIII.

³ DERRY, T. K. ; WILLIAMS ,T. I. *Historia de la tecnologia*. México, D.F. : Siglo Veintiuno, 1987. v. 2, p. 466.

ser um dos primeiros compradores de uma máquina desenvolvida por Boulton & Watt, com a finalidade de injetar ar nos altos fornos, uma aplicação até então inexistente.

Cientes dos esforços ainda necessários ao desenvolvimento da MV, e tendo Boulton declarado à época da associação com Watt que "tudo isto não é ainda mais que uma sombra, uma pura idéia: para realizá-la será necessário muito tempo e muito dinheiro",¹ Watt entra em 1775 com um pedido de prorrogação da patente, que venceria em 1783.

O próprio Roebuck depõe em seu favor, afirmando as vantagens em relação às máquinas anteriores (duplicaria o rendimento) e estimando que já haviam sido gastos três mil libras no seu desenvolvimento e que seria necessário pelo menos dez mil libras para sua completa realização. Reconhecendo-se ser necessário um bom tempo para que esse equipamento viesse a ser comercialmente rentável (inclusive pelas dificuldades do mercado em aceitá-la) para pagar os investimentos realizados e "premiar" os esforços até então empreendidos, a patente é renovada até 1800, portanto por um prazo de 25 anos, prazo este bem superior ao usual.

A propósito da renovação da patente vale observar que Boulton, embora já mantivesse negócios com Watt antes de sua renovação, só formaliza a associação após a prorrogação da patente. Isto parece mostrar sua cautela, ainda que nos negócios da empresa metalúrgica, em sociedade com Fothergill, não se possa afirmar com segurança o mesmo. Não é de duvidar que ciente da necessidade de recursos, das dificuldades técnicas e produtivas e do tempo para uma inovação deste porte "estabelecer-se" no mercado, o intervalo de tempo que restava não seria suficiente para remunerar o capital aplicado, ou como diz ele, "ganhar o dinheiro imaginado". Por outro lado, sua vasta rede de contactos, inclusive com políticos e com

¹ Carta de BOULTON a WATT, citado por MANTOUX, p. 314.

a aristocracia, não só a inglesa como a de toda a Europa, deve ter sido de valia na aprovação da prorrogação.¹

Em 1777, Watt desloca-se para a Cornualha, local que representava nesta altura a instalação de mais da metade das máquinas, e termina por lá fixar-se, de forma a tratar dos negócios e supervisionar a montagem das bombas. Desse ano, até seu retorno a Birmingham, em 1781 ou 1782, a MV ao que parece pouca, ou nenhuma, modificação sofreu. A única inovação a ela relacionada é um medidor da quantidade de água esgotada. Como era cobrado um *royalty*, chamado por Watt de prêmio, à base de 1/3 da economia de combustível em relação às bombas de Newcomen, é preciso também medir a vazão. Depois de fazer medições, Watt desenvolve um instrumento para este fim.²

Sabemos hoje que uma frente essencial para as inovações é o uso em novos mercados, o que em geral exige modificações no produto original. Escreve Boulton a Watt, em 1782: “Em Londres, Manchester e Birmingham, todos estão doidos pelas fábricas a vapor. Não quero dar-lhes pressa, mas creio que no decurso de um mês ou dois, devíamos tomar disposições para tirarmos a patente de certos processos de conseguir o movimento de rotação

¹ Robinson, argumentando a favor da capacidade empresarial de Boulton e da importância da firma Boulton & Fothergill para B&W, mostra como as atividades de Boulton, naquela firma, o levam a uma diversidade e intensidade de contatos com a aristocracia e a burguesia (não apenas inglesa mas europeia) e também o levam a uma facilidade em circular nesses meios. Relata uma ocorrência de *lobby* e levanta a hipótese bastante plausível da importância desses contatos na aprovação da prorrogação da patente. Confirma vigorosamente o senso comercial de Boulton, no lançamento de produtos e sua promoção, com campanha publicitária, que ele mesmo vai averiguar a eficácia, indo sua percepção a tal ponto, que chega a usar técnicas que hoje são chamadas de marketing direto. (ROBINSON, E. Eighteenth-Century commerce and fashion : Matthew Boulton's marketing techniques. *Economic History Review*, v. 14, n. 1, aug 1963, p. 51.)

² De forma a acentuar a capacidade inventiva de Watt, vale mencionar que desenvolve um processo para amaciar o papel e uma prensa de impressão, ou seja, uma tecnologia barata e simples para duplicação de impressos, o que virá constituir-se em mais um negócio de Watt e Boulton.

[...] e a maneira mais provável de consumo para as nossas máquinas é a sua aplicação em fábricas, o que não deixa de ser um campo vastíssimo.”¹

De volta a Birmingham, no período de 1781-84, segundo outros autores, Watt desenvolve um conjunto de soluções que de fato torna sua máquina, seja em termos de princípio, seja em termos operacionais, uma MV. As “inovações incrementais” que levam a MV a usar todo o potencial da transformação de energia são: o paralelogramo articulado, a engrenagem excêntrica, chamada por Watt de movimento planetário (*sun and planet*), e a denominada máquina de duplo efeito.

Watt, que era membro da "The Royal Society" e de outra instituição científica e técnica de Birmingham, e, como dissemos, habitualmente mantinha contacto com cientistas e técnicos, realizava pessoalmente investigações e mensurações. Segundo Scherer, realizou enorme quantidade de experimentos, de forma a melhor encaminhar a solução dos problemas que se lhe apresentavam. Para a solução do paralelogramo articulado, que afinal se trata do princípio do pantógrafo, e que Watt afirma ser o “invento mecânico” do qual “sinto mais orgulho”, consulta os estudos realizados por Fitzgerald, que continham não apenas uma, mas sete soluções possíveis, algumas delas já em uso por instrumentos utilizados de longa data. A engrenagem excêntrica, por exemplo, é sugestão de Murdock, um fiel e engenhoso trabalhador qualificado das fábricas de Boulton.

Apenas em 1788, com o regulador automático de velocidade (a mudança de velocidade regula a entrada de vapor no cilindro), atinge a MV de Watt sua conformação definitiva. A importância desse regulador é que ao reduzir as variações de velocidade permitiu

¹ DICKINSON, H. W.; VOWLES, H. P. *James Watt e a revolução industrial*. Londres : Longmans Green, 1944.

intensificar seu uso em atividades como as da indústria têxtil, na qual variações acentuadas eram prejudiciais ao processo. Segundo Dickinson, “Watt não se atribuía a invenção do regulador”, cujo princípio geral já era usado em moinhos de vento na indústria moageira. Mas, sua aplicação em outra área totalmente distinta exigiu novas soluções e, convém lembrar, após cerca de 25 anos desde suas primeiras idéias.

Essas muitas melhorias e mais um eixo centrífugo e o manômetro, que denotam acréscimos sucessivos a uma inovação basilar, assemelham-se às que foram desenvolvidas por Arkwright. Essas inovações incrementais, algumas delas generalizam processos semelhantes já em uso, permitem novos usos para a MV, ampliando assim seu mercado e contribuindo para a solução de problemas em outros setores e/ou a redução de custos.

Uma estimativa contemporânea de custo do seu desenvolvimento, e mais o capital fixo necessário ao fabrico das máquinas a vapor, ascende a 47 mil libras, porém parece não ser possível confirmar este valor. De qualquer forma, os autores concordam que seu desenvolvimento exigiu elevado investimento, e Mantoux afirma ser ele bem superior as dez mil libras estimadas por Roebuck. A título de comparação, um banco londrino possuía à mesma época, um capital em torno de 25 mil libras,¹ e a nova fábrica de Boulton & Fothergill, que tomou quase cinco anos para ser completada em 1762, recebeu um investimento de £ 9.000, e era considerada por outros industriais como exemplar, o que mostra que o volume de capital necessário foi bastante elevado para os padrões da época.

A capacidade empresarial de Boulton, mencionada em vários trabalhos, é decisiva para uma inovação que, mostrando-se tão dispendiosa e demorada, foi de importância crucial no desenvolvimento do capitalismo. A engenhosidade comercial de Boulton mostra-se, por

¹ CAMERON, R. *Banking in the early stages of industrialization*. New York : Oxford University Press, 1967, p. 33.

exemplo, na criação de um tipo de contrato de risco, em que os compradores pagavam o custo de fabricação e instalação das máquinas, e a firma de B&W tinha como lucro 1/3 da economia de combustível em relação a uma máquina de pressão atmosférica de igual potência.¹

Outro fator não menos importante foi sua capacidade de liderança e de formação de pessoal, já referido anteriormente. Neste sentido, vale mencionar seu colaborador, Murdock, que não só sugeriu a Watt a solução da engrenagem planetária, como foi o um dos primeiros na Inglaterra a desenvolver um pequeno modelo de “locomotiva”,² e ao mesmo tempo que um francês, descobriu e utilizou as propriedades do gás de carvão (de hulha).

Vimos que o primeiro usuário da MV, ainda operando-a enquanto uma bomba, foi a fábrica de Boulton & Fothergill. Boulton, atento à abertura de novos mercados, não só incita Watt a dotar a MV de movimento rotativo, como, associando-se a outras pessoas, e de forma a mostrar o potencial da máquina, funda em 1785 um grande moinho, e instala uma MV de grande potência. Vale dizer, move-se à frente, como primeiro e grande usuário de forma a servir de “vitrine” para atrair usuários.

Há autores que, possivelmente impressionados pelas figuras de heroísmo (e anti-herói) e segundo suas idiossincrasias, enaltecem Boulton em detrimento de Watt, ou o inverso. O que de fato se vê é uma complementaridade, aliás reconhecida em carta pelo próprio Watt.

¹ A solução de um pagamento ditado não por um valor fixo, mas por constituir-se em um custo variável, e em função da comprovação na redução de custo permitida pelo uso da máquina, parece muito atraente. Ela era oportuna tanto para B&W, quanto para os usuários, já que reduzia riscos e o montante de investimento, de ambos, facilitando pois a difusão da máquina. Haveria incentivo ao aumento de sua eficiência, promovendo a dedicação de B&W à sua melhoria, justamente em um momento que havia inúmeros problemas a resolver. Teria ainda um efeito benéfico, disseminador entre os subcontratantes, pela circulação de informações e dado o nível de exigência de B&W, estabeleceria padrões. No entanto, talvez por ser inusual efetuar medições regulares, e sua confiabilidade duvidosa, depois de algum tempo, os mineradores da Cornualha, principal mercado de B&W, reagem, e esta acaba por estabelecer valores fixos para os *royalties*, baseados na potência da máquina.

² Na verdade ainda não se trata de uma locomotiva propriamente, mas de um veículo auto propulsionado usando uma MV de alta pressão. Adiante discutiremos as máquinas de alta pressão.

Ao mesmo tempo que Watt é extremamente inventivo e capaz de dar as soluções técnicas, é também extremamente temeroso, avesso ao risco, mostrando-se amedrontado com o endividamento. Isto se verifica pelo seu pedido a Boulton para não tentar abrir mercado junto à indústria têxtil, alegando que este estaria próxima à saturação - o que como vimos, mostrou-se um tremendo de erro de avaliação. Já Boulton (ainda jovem e iniciando sua experiência empresarial com seu pai) por dispor de capital, por montar uma vasta rede de contactos, que além do possível papel na aprovação da prorrogação da patente, é imprescindível na comercialização e na obtenção de crédito, e por tudo mais que já mencionamos, permite-nos tomá-lo como protótipo do empresário inovador schumpeteriano. Seu *animal spirit*, como mostrado na carta a Watt de 1769, leva-o contudo a diversificar em demasia, inclusive a gama de produtos de sua firma em associação com Fothergill, e a montar inúmeros negócios, a maioria resultando em fracasso, o que o obriga a usar parte do substancial aumento de patrimônio em propriedades imobiliárias, advindo de seus dois casamentos. Talvez se possa levantar a hipótese que o temerário Boulton também neste sentido se complementou ao temeroso Watt.

Em 1794, já capitalizados, com o mercado já formado e em expansão, com alguns concorrentes nos “calcanhares” e com a aproximação do prazo para expirar a patente, ambos resolvem montar uma fábrica para a produção de MV. Essa fábrica-modelo usa intensivamente todo o potencial da MV como fonte de geração de energia, o que permitiu o desenvolvimento de vários equipamentos específicos, que vieram a ser usados por outras indústrias, particularmente a metalurgia. Tal fábrica, que impressiona os contemporâneos, chega a empregar 1.000 operários e pode-se tomar como prenúncio da grande indústria. Nos mesmos moldes, Boulton monta uma fábrica de cunhagem de moeda, e a firma B&W produz e exporta

equipamentos para cunhagem - um dos quais, pelo menos, ainda estava em operação no fim do século XIX .

II

A partir da história da MV, discutiremos alguns pontos, que entendemos como fundamentais, no que diz respeito à conceituação e ao processo de inovação e difusão.

De um lado, ao tomarmos a inovação como a primeira introdução de um novo processo ou produto (visto aqui de forma abrangente como forma de organização, não necessariamente técnica, como no entender de Schumpeter) e, de outro, a difusão, entendida de forma restrita como disseminação da inovação, operamos um corte que tanto do ponto de vista econômico quanto social é infundado. Essa dicotomia herda a idéia de invenção como acontecimento “glorioso”, singular, que mostra a genialidade criativa de que o (um) homem é capaz (Eureka!, a maçã que cai), produzindo assim rupturas fundamentais. E restringe a uma visão micro, ao entendermos a difusão tão-somente como um processo de imitação entre firmas. Comete-se pois, no nosso entender, o equívoco de se privilegiar a racionalidade microeconômica e as condições estritamente técnicas, em detrimento de um processo que depende do “ambiente econômico” (portanto de condições institucionais), e com amplas conseqüências, não apenas econômicas, mas também sociais.

A MV possibilita esse tipo de visão. Ao Watt escrever sobre a solução encontrada para o problema de perda de energia, isto é, a idéia do condensador separado, é sugerido que “de repente” surgiu-lhe a idéia. Por outro lado, a maioria dos comentadores vê no condensador a inovação básica e, quando não desconhecem, põem em segundo plano as demais inovações. O próprio Watt se engana profundamente, já que pouco depois de iniciar os testes, em 1765, acreditava que a menos de alguns “detalhes” a “invenção estava completa”. Já quatro anos mais

tarde, ao montar um modelo de dimensões industriais com um cilindro de 18 polegadas, enquanto testava com protótipos de até seis polegadas, reconhece que os problemas realmente começaram a surgir a partir daí. Trata-se hoje de uma constatação corrente que, ao longo do processo de desenvolvimento, novas dificuldades, na maioria imprevisíveis, surgem - e os custos se elevam exponencialmente.

Ainda que se possa considerar o condensador como seu grande invento, devemos ter em conta que a MV de Watt só encontra sua conformação definitiva 23 anos depois. Ao longo desse período, vários entraves, não apenas técnicos, mas também de ordem econômica, têm de ser superados, o que se dá por um processo cumulativo de aprendizagem, ou seja, não apenas por erros e acertos, como com soluções gerando novos problemas, processo este dependente de outras atividades não imediatamente relacionadas à experiência de B&W.

Ainda que essas inovações *per se*, à exceção do manômetro, não sejam “inovações primárias”, no sentido que usam idéias já aplicadas em outra tecnologia, a MV propriamente dita, como unidade com capacidade autônoma de transformação energética, data de 1784. E seu pleno potencial de uso na indústria têxtil se completa apenas em 1788. Enfim, foi necessário um prolongado processo para que a MV ganhasse características mais marcantes e um longo período para ocorrer a manifestação de seus efeitos econômicos e sociais.

Não devemos pôr em segundo plano a inovação “pioneira”, já que normalmente é um momento de ruptura e abertura para novas formas de encarar e resolver problemas, e por ser ela o ponto de partida, que permite (ou não, as histórias de insucesso dificilmente são relatadas) a acumulação de inovações incrementais. Nossa discordância é com a falsa cisão. São as inovações incrementais que ampliarão o mercado e sobretudo abrirão novos mercados, e há pesquisas mostrando que o aumento de produtividade delas derivado é substancialmente maior se comparado à primeira introdução; é quando ao longo do processo de ao encontrar soluções,

surgirem novos problemas técnicos ou novas necessidades postas pelo uso, vai se formando uma trajetória seja em termos de possibilidades técnicas, seja em termos de conhecimento. Em suma, inovação e difusão são processos indissociáveis.

Polemiza-se se a MV seria um invento de Watt, já que existiam as bombas de Savery, entendido por muitos como o seu “verdadeiro inventor”, e de Newcomen. Os que negam esse fato, valorizam em demasia o caráter de novidade, e parece-nos que também o indivíduo criativo, o inventor. De fato, Watt não só conhecia bem a operação do digestor de Papin, que diga-se de passagem não tinha uso industrial, como também a bomba de Newcomen, justamente o ponto de demarcação para chegar a solução do condensador separado. Neste sentido não se trata de uma invenção como se fosse nova criação. Ele aplica seu saber e curiosidade sobre o corpo de conhecimentos então detido. Mas até que se complete o ciclo de inovações que permite a bomba se tornar uma efetiva MV, é preciso bastante capital, engenhosidade comercial e técnica e, não menos importante, avanços em tecnologias complementares para que a máquina de Watt pudesse ser fabricada. Só então, as promessas contidas nas bombas anteriores à máquina de Watt tornam-se uma efetiva realidade, capaz de possibilitar transformações nas condições econômicas e sociais de produção.

A MV ganha existência pela insistência de Boulton, ou seja, devido a sua visão empresarial voltada à ampliação do mercado. Mas para que seja possível o uso na indústria têxtil, que era o principal objetivo de Boulton, é preciso um conjunto de inovações, o qual tem uma dinâmica própria, já que as soluções encontradas por Watt ao longo do ano de 1788 são do tipo que gera novos problemas.

Praticamente desde as primeiras formulações do progresso técnico como endógeno, debate-se se este seria “puxado pelo mercado” ou “empurrado pela tecnologia” e a ciência (*market-pull* x *technology-push*). Se visto a partir de suas determinações mais gerais, é claro

que são os dois movimentos. Inova-se para obter lucros monopólicos, portanto em função não só de atender ao mercado, como atendê-lo de forma diferenciada. Por outro lado, é a base de conhecimentos que determina as soluções possíveis, e se tecnologia e ciência não estreitassem seus laços e a fronteira das possibilidades técnicas não viesse a ser permanentemente alargada pelos avanços científicos, o progresso técnico atingiria um limite, e o capitalismo não teria tido o dinamismo que conhecemos.

Entendendo agora inovação, de forma restrita, isto é, como a introdução de novos produtos ou processos (que não esqueçamos, costumam exigir novos equipamentos), a chamada *demand pull* nos diz, de forma pouca precisa, que é a demanda que determina essa introdução. Mas como usar o conceito neoclássico de demanda, de preferências do consumidor, apoiada em renda, para algo que inexistente?

Há autores, ainda menos precisos teoricamente, talvez influenciados pela chamada soberania do consumidor, que falam em atender somente a necessidades do mercado. Além das constatações óbvias, de que não será aplicado capital simplesmente para atender alguma das “infinitas necessidades” do mercado e para não obter lucro, a decisão de aplicação de capital, se como qualquer decisão capitalista é mediada pelo mercado, tem neste seu último árbitro. No caso de investimento em inovação, a expectativa de lucro é determinada por um cálculo basilamente incerto, em que se impõem capacitações técnicas e/ou científicas (que vale lembrar têm custos), em geral não dependentes apenas de quem toma a decisão de investimento.

Como bem lembrado por Mowery e Rosenberg, para a firma não importa se o aumento de lucro provenha da alteração das condições da demanda ou da oferta.¹ E

¹ ROSENBERG, N. *Inside the black box*. Cambridge : Cambridge University Press, 1982. p. 231.

acrescentamos que o erro provém da necessidade de isolar demanda e oferta como variáveis independentes, necessidade que se impõe na determinação do equilíbrio, quando aqui se trata de um processo, portanto que exige transcurso de tempo, sob condições de incertezas e dinâmicas.

Como observam os citados autores, é aceitável uma análise que privilegie o mercado, se circunscrita a firmas e produtos específicos. Contudo, se utilizada em análises de cunho macroeconômico, poderá conduzir a graves deformações. A nosso ver, aquilo que de fato importa não é a demanda em si, mas a estrutura de mercado – esta sem dúvida com papel fundamental na dinâmica das inovações.

Devemos no entanto reconhecer que de fato o mercado (entendido como estrutura de mercado) teve sua importância acentuada, isto em boa medida se deve à ampliação das alternativas técnicas, à maior aproximação entre ciência e tecnologia, à maior circulação das informações científicas e técnicas, o que pode provocar um viés em estudos de caráter histórico, caso o analista não se dê plenamente conta disto.¹

A superação dessa querela é simples. É falsa a disjuntiva demanda e oferta, elas são sim, complementares, inclusive pela interação; estrutura de mercado e tecnologia se põem questões e soluções.

As posturas que vimos criticando amplificam os problemas em análise de natureza histórica. Trataremos de forma relativamente extensa este ponto, a partir da discussão de alguns textos, de forma a explorar um tema que a despeito de ser básico, muitas vezes não é assim

¹ A “introjeção” da inovação, através dos laboratórios de P&D, é outro fator a acentuar o papel da estrutura de mercado, pois a inovação ganha imenso vigor enquanto vetor da concorrência. Talvez mais importante enquanto “falsificador” da análise, é o fato da grande maioria dos analistas não serem técnicos, tendendo assim a privilegiar os aspectos com os quais têm maior intimidade, e o primeiro candidato do ponto de vista econômico é o mercado. Quantas questões entendidas como oriundas do mercado não têm também um determinante de natureza técnica?

percebido. Há que ter claro a posição teórica assumida, sua adequação ao objetivo de estudo e suas limitações.

Segundo Braudel, a técnica perdeu seu prestígio enquanto fator explicativo da revolução industrial, e, complementa, “a historiografia recente tem argumentos sólidos para não aceitar ver como *primum mobile*, ou mesmo como estopim, para falar como Paul Bairoch”. A razão é que “a invenção geralmente está à frente da capacidade industrial e, por isto mesmo, cai muitas vezes no vazio. A aplicação técnica efetiva, por definição, vai atrasada em relação ao movimento geral da vida econômica; ela deve esperar para nela participar, ao ser solicitada, e sobretudo duas vezes e não uma, por uma demanda precisa e insistente.”¹

Essa interpretação de Braudel insere-se em algo maior que ele chama de tempo de longa duração. Ainda que afirme que nos fenômenos sociais o rápido e o lento são indissociáveis, que há sempre que aproximar o longo e o curto prazos, havendo sempre forças de manutenção e forças subversivas, em que as explosões revolucionárias são manifestações vulcânicas, breves e brutais - com o que não temos discordância -, acaba por concluir que “as mutações e mesmo as discontinuidades do fim do século XVIII se inserem em um *continuum* histórico, a uma só vez, anterior, presente e depois subsequente, um *continuum*, onde as discontinuidades e rupturas perdem suas características de eventos únicos ou decisivos.”² Não por acaso lhe é possível concluir que o capitalismo “restou no essencial, semelhante a si

¹ BRAUDEL, F. *Civilisation matérielle, économie et capitalisme XV-XVII Siècle*. Paris : Armand Colin, 1979. tome 3: Le temps du monde, p. 489. Note-se a semelhança com as idéias de Hobsbawn, no tocante a necessidade de um mercado vasto, que apresente altas taxas de crescimento. Vale ainda citar palavras de Bairoch, que Braudel toma como suas, “durante os primeiros decênios da revolução industrial, a técnica foi muito mais um fator determinado pelo econômico, que determinante do econômico” (BRAUDEL, p. 490).

² BRAUDEL, p. 465.

mesmo.”¹ E para que não haja dúvida, refere-se desde o “primeiro século de nossa era”, com a Índia penetrando na Insulíndia, passando pelo domínio do Mediterrâneo por Roma, até os dias de hoje.

No entender de Braudel, a interpretação alternativa é aquela que vê o capitalismo como um desenvolvimento por fases sucessivas, capitalismo mercantil, financeiro, industrial, com um “[...] progresso contínuo de uma fase para outra, o “verdadeiro” [aspas no original] capitalismo começando tarde, com o domínio sobre a produção”,² e o que haveria antes seria capitalismo comercial, quando não, pré-capitalismo. Ao rejeitar essa interpretação, fornece o argumento em favor de sua tese. “De fato, vimos que os grandes “comerciantes” [aspas no original] praticavam indiferentemente, simultaneamente ou sucessivamente, o comércio, a finança, a especulação, [...]” mas reconhece que mais raramente as manufaturas. Quando os lucros da indústria têxtil caíram, devido à concorrência, os capitais aí aplicados se deslocaram para outras atividades industriais, “[...] mais ainda, deu-se um retorno ao capitalismo financeiro, aos bancos, à especulação financeira, mais ativa que nunca, ao grande comércio internacional, aos lucros da exploração colonial, aos empréstimos ao estado, etc.” Não há especialização, sendo possível detectar-se a “coexistência de diversas formas de capitalismo”,³ o que se já ocorria em Florença no século XIII, pode ser observado também na década de 70 deste século na operação das multinacionais — confirma esta continuidade.

¹ BRAUDEL, p. 538. Em certa passagem usa a expressão “capitalismo em potência”, grifado no original.

² BRAUDEL, p. 539.

³ BRAUDEL, p. 539. Fica pois claro que não se opõe à ideia da existência de diversas formas de capitalismo, mas tão-somente a sucessivas fases, como diz, em um “progresso contínuo”.

São vários os problemas que se apresentam em sua argumentação. O que chama de especialização, isto é, dedicação exclusiva de unidades de capital, de forma alguma é uma exigência do capitalismo, no sentido por nós explicitado na introdução. Mobilidade do capital e diversificação (no sentido de presença em mais de um tipo de atividade) de forma alguma se opõem.

Se o capitalismo tudo comporta, desde o domínio imperial de Roma, passando pela mobilidade de capital em Florença, até as multinacionais atuais, nada lhe é específico, logo trata-se de uma abstração, e não de um conceito histórico. Do ponto de vista conceitual, o erro reside em identificar formas de capital a formas de capitalismo. O caráter não histórico é confirmado, ao igualar a especulação financeira do século XIX à da Idade Média, o mesmo se dando com relação à exploração colonial, quando os determinantes são muito distintos, com conseqüências diferentes.

Uma pergunta crucial: por que se verificavam longos períodos de estagnação e por vezes até retrocessos, o que não se observa desde o século XVIII? Nossa resposta é que só o capitalismo (no singular), como aqui entendido, é capaz de, por suas próprias forças, e através de um processo que se faz por meio de crises, transformar suas condições de reprodução. Não basta, como afirmado por Braudel, o domínio do capitalismo sobre a produção, por ele identificado a capital industrial em geral, é preciso o domínio da grande indústria.

Ao diluir o processo de desenvolvimento histórico em uma abstrata categoria de capitalismo, nos diz que, se sempre existiu, deverá existir para todo o sempre. Entretanto, contradiz-se justamente com o que entende ser a essência do capitalismo, cujo "principal privilégio, hoje como ontem, é a liberdade de escolher [...] e por poder escolher, o capitalismo tem a capacidade de a todo instante virar de cabeça para baixo: este é o segredo de sua

vitalidade.”¹ De um só golpe tornam-se transparentes: a impossibilidade de negar o papel das discontinuidades, e o caráter não histórico, já que essa liberdade só vem a ser “típica” após pelo menos a segunda metade do século XVIII.

Examinemos os argumentos levantados para a perda de prestígio do papel das condições técnicas, em favor do que chama determinação econômica, isto é, a demanda.

Na indústria têxtil, uma máquina de tecer (a lançadeira volante), desenvolvida por volta de 1730, não é usada senão depois de 1760 (contudo, as máquinas que virão a ser usadas não é aquela à que se refere). Mas a razão inicialmente apontada por Braudel (e ao que tudo indica há outras hipóteses plausíveis) não é o impulso da demanda de tecido em si mesma, mas um conhecido fator de natureza técnica, a desproporcionalidade entre as capacidades produtivas, que se pode incluir entre as necessidades impostas pela complementaridade técnica. Vale dizer, ao passarem a utilizar máquinas de fiar de maior produtividade, do ponto de vista do processo como um todo, gera-se um gargalo na tecelagem.²

Prossegue observando que difusão da mecanização na indústria têxtil é lenta, a ponto de apenas em 1840 mostrar-se indispensável, o que se deve à queda dos salários e ao desemprego provocado pela própria mecanização, permitindo assim sobreviver a produção com maior intensidade de mão-de-obra. Essa estranha dialética, pela qual a mecanização contém seu próprio freio, o que terá a ver com a demanda?³ O terceiro argumento é que haveria um patamar, determinado pelo consumo per capita, a partir do qual se aceleraria a necessidade de

¹ *ibidem*.

² No capítulo III faremos uma discussão sobre o que usualmente é chamado de desequilíbrio tecnológico.

³ Há sólidos argumentos mostrando que diferenciais de salário, se dão simultaneamente a diferenciais de produtividade, levando não a um bloqueio da forma mais “moderna”, mas a coexistência de unidades

mecanização. E a única razão que Braudel dá é o fato de aproximadamente ao mesmo nível de consumo, o mesmo verificar-se na França.

Relativamente à indústria metalúrgica, após alinhar uma série de motivos para a lenta difusão do processo baseado em carvão mineral, ainda se pergunta por que apenas depois de 1750-60 se acelera seu uso. A resposta estaria na elevação do preço do carvão de lenha. Mas insiste, e questiona que razões teriam feito que o antigo processo tenha sido tão largamente usado durante tanto tempo, já que até 1775 era o responsável por quase metade da produção. A razão, nos diz Braudel, estaria nas altas taxas de crescimento da demanda que levaram os produtores, usuários do novo processo, a não baixarem seus preços, permitindo assim a sobrevivência dos produtores com custo médio mais elevado, os quais usavam o processo antigo. A menos de restrições físicas, aceitável apenas em período de curta duração, e por isto mesmo eventuais, ou financeiras - o que Braudel está mostrando - como havíamos assinalado, é que a estrutura de mercado, e não a demanda em si, é determinante das condições técnicas.

A propósito da indústria têxtil, após lembrar que “se a demanda cria a inovação”, afirma, “que ela depende do nível de preços”,¹ realçando pois o papel dos preços. Contudo, na indústria metalúrgica, sabe-se que fatores de ordem técnica (na pesquisa e lavra de minério, ou em virtude de inovações nos processos de produção de ferro, e sobretudo aço), foram determinantes de primeira grandeza na matéria-prima utilizada e no comportamento de seus preços; influência esta que não se restringe à metalurgia, e tampouco às matérias-primas. Em sua análise, Braudel reduz a questão técnica ao tipo de matéria-prima, e isto justamente pela

produtivas com distintas condições técnicas, produtividade e salário, ou pode-se dizer, a convivência do “moderno” com o “atrasado”.

¹ BRAUDEL, p. 490.

fixação na demanda, desprezando não só as inovações incrementais, como sobretudo as interações, sejam elas de natureza econômica ou técnica.

Iniciamos estes comentários do pensamento de Braudel com uma citação que mostra claramente que as condições técnicas e econômicas são compreendidas como estanques, e, não por acaso, distingue invenção e aplicação técnica efetiva. Não existe tal coisa como uma boa solução técnica, em abstrato, mas apenas, soluções rentáveis. Entretanto, uma inovação economicamente viável não está posta de antemão, mas é dependente de uma trajetória, em que interagem estrutura de mercado e questões técnicas.

Seu conceito de demanda peca por ser vago. Ao afirmar que haveria um patamar, que podemos entender como um ponto crítico, idéia atualmente utilizada por estudiosos do progresso técnico, a referência é também ao tamanho do mercado, e não à taxa de crescimento da demanda. E como bem lembrado por Mowery e Rosenberg, esse pode de fato ser um fator significativo para a determinação das condições técnicas. O uso que faz da noção de demanda recobre na verdade outros determinantes, como capital aplicado, o que muitos autores vêm como decisivo em vários momentos, e rentabilidade. Enfim, como sempre, a imprecisão conceitual induz a erros.

Em certos momentos, inclusive no tocante ao comportamento da demanda, lança mão de “provas” empíricas. No entanto, se por si só as informações quantitativas referentes ao período são precárias, tais argumentos são tornados ainda menos fiáveis, pois os usa em termos de largos períodos, sem realizar uma análise detida. Independentemente do período sob análise, utilizando conceitos vagos, usar supostas provas empíricas, como se boa ciência fosse, para negar uma linha teórica bem estabelecida, em favor de hipóteses ou teorias “frouxas”, não nos parece um bom procedimento.

Ao menosprezar as condições técnicas, Braudel acaba por encobrir determinações básicas do capitalismo. A subordinação do trabalho, a formação e funcionamento do mercado de trabalho e a dinâmica do capitalismo só são inteligíveis se for dado papel central às mudanças das condições técnicas.

Uma interpretação que pretendesse ser menos dura para com o autor assinalaria que seu esforço é no sentido de uma visão mais abrangente, de levar em conta longo e curto prazos, e até mesmo o título de um item que é “a técnica, condição necessária, mas sem dúvida não suficiente.” Ao longo de todo esse item, ele tenta ajuntar provas de que as condições técnicas não são determinantes das condições econômicas, e as várias citações que fizemos mostram isto. Apenas no último parágrafo, ele reconhece algum mérito das condições técnicas, e justamente neste momento, dá uma guinada em sua linha de argumentação. Após ponderar que Landes, ao observar que haveria uma sobrevalorização da metalurgia na gênese da revolução industrial, teria validade apenas se visto da ótica cronológica, afirma que “(mas) a revolução industrial é um processo contínuo que teve de se inventar a cada instante de seu percurso, que está como que à espera da inovação que se vai, da inovação que está por vir. A adição está sempre por se completar. E é o último progresso que justifica, que dá um sentido ao que o precede.”¹ O intrincado problema do tratamento do tempo na análise histórica e o problema conexo, do determinismo, não são “resolvidos”. Parece-nos que na tentativa de fugir do determinismo, contra o qual se pronuncia, ele opera uma inversão, e o passado torna-se inteligível pelo que acontece posteriormente. Se de um ponto de vista epistemológico essa posição é aceitável, cremos que nada acrescenta no caso de uma análise histórica específica. Afora estes problemas, contradizendo-se, reconhece que o capitalismo, no sentido por nós

¹ BRAUDEL, p. 494. Há que estranhar entender a revolução industrial como auto-reflexiva.

empregado, está “continuamente” a revolucionar as condições de produção (o que naturalmente nada temos a opor) - o que se dá pela primeira vez com a revolução industrial.

Em suma, ao tentar conciliar, Braudel de fato acaba sendo tendencioso. Este é o risco do ecletismo, que parece atualmente predominar nas análises históricas. Com a intenção de aumentar o “poder explicativo”, de ser mais abrangente, colhendo um maior número de causas, terminam por perder de vista as determinações centrais, quando não as negam.

Lilley, em sua análise das relações entre a revolução industrial e o progresso técnico, apresenta duas teses centrais.¹ A primeira é de que o progresso técnico é uma mera resposta ao aumento da demanda, o qual já vinha ocorrendo e já se acelerava. E a segunda é que a revolução industrial deve ser entendida como resultante da ascensão da burguesia, ou ainda, da predominância dos valores burgueses. As invenções se dão uma vez atingidos os limites da tecnologia existente, ou ainda, é preciso que as condições econômicas estejam completamente amadurecidas. “Os inventores não agem, [...] senão quando a necessidade fosse clara — de fato premente.”² Como vários autores que analisam o período, entende que as invenções são fáceis [sic], pois apenas estendem a aplicação de tecnologias ou princípios já conhecidos de longa data. Daí que “as transformações tecnológicas do século XVIII era uma destas coisas destinadas a se dar quando homens ambiciosos nestas condições imaginavam um caminho para o topo.”³

¹ LILLEY, S. Technological revolution and the industrial revolution, 1700-1914. In: CIPOLLA, C. M. (ed.). *The Fontana economic history of Europe*. Glasgow: William Collins Sons, 1973. v.3.

² LILLEY, p. 213.

³ LILLEY, p. 215. Da mesma forma que Braudel, mas restrito à dimensão tecnológica, Lilley sustenta haver uma continuidade desde a Idade Média, até mesmo depois do século XVIII, ocorrendo neste período uma fase, ainda que crucial, do movimento a longo prazo.

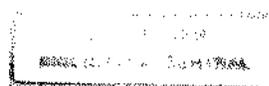
A fragilidade de sua tese é desnudada pelo próprio autor, quando ao se perguntar por que as respostas aos desafios vieram sob a forma de inovação tecnológica, afirma que poderia não ter sido assim, pois simplesmente a demanda poderia não ter sido satisfeita, e a história teria vários exemplos, em que, a despeito da necessidade de avanços técnicos possíveis e a disponibilidade do conhecimento necessário, tal fato não se deu. Nesta altura, ele usa este argumento como prova de que é a estrutura de classe o fator determinante.

A resposta (parcial) é dada por Landes, em seu excelente "The Unbound Prometheus",¹ que, após analisar as interações e interdependências, lembra que já tinham sido anteriormente verificados períodos de prosperidade industrial, contudo se esvaíram, seguindo-se períodos de estagnação, e sustenta que isto se deve a que nesses períodos só havia quantidade, mas não qualidade, entendida esta como crescimento da produtividade.

No nosso entender, a forma de encaminhar essas questões é conjugar ambas as respostas. Se o progresso técnico for visto como mera consequência do aumento da demanda, e simplesmente do ponto de vista técnico - além de se desconhecer parte da dinâmica econômica, tornando-o um processo inexorável e natural - acaba-se por fazê-lo repousar em condições sociais que prescindem das condições técnicas de produção. Mas a transformação destas condições é parcela essencial na promoção e sustentação das condições sociais, as quais também estão a passar por profundas transformações.

Afirmar que "qualquer um pode chegar ao topo", bastando portanto indivíduos "dispostos a obter o lucro" que o mercado tornava transparente, o que significa em

¹ LANDES, D. S. *The unbound prometheus*. Cambridge : Cambridge Univestity Press, 1972.



última instância assumir uma mobilidade social perfeita, é uma apologia ao capitalismo, ainda que em seu período de constituição. Mas talvez mais importante, é que focaliza em decisões individuais, como se tratasse de capitalistas que “isolados” estivessem, quando só é possível entender-se o período, tendo em vista um grande feixe de transformações, e mais especificamente, no ponto sobre o qual estamos nos centrando, em que a diferença surge por ser uma grande quantidade de capitalistas e de inovações, concentradas num período de tempo — e não pode ser omitida a concorrência —, que pelo menos relativamente à produção manufatureira é fenômeno deste século. É essa concentração de “pequenas quantidades” que provoca uma mudança de escala, caso contrário, seria impróprio entender-se ter ocorrido uma revolução industrial.

Entretanto, deve-se concordar com Lilley que a ascensão da burguesia tem papel central na compreensão da revolução industrial, o que já não é apontado por Landes. Não só as formas “tradicionais” de poder ruíram, eliminando as pesadas barreiras à acumulação, como a detenção de riqueza que visa seu aumento, é em si mesma um valor. E o que distingue o século XVIII, em particular sua segunda metade, é o ritmo das transformações na produção manufatureira, que vai se tornando indústria propriamente dita. A acumulação de capital, como critério de valorização, inclusive social, que pode e deve ser buscada, é parte crucial da “explicação”, ainda que a taxa de investimento, segundo muitos autores, tenha sido pequena para os padrões posteriores.

Discutiremos a seguir o brusco corte inovação-difusão, o que leva muitos autores, partindo da suposição da superioridade técnica “instantânea” da inovação, a verem a difusão como processo natural, dependente apenas de uma racionalidade microeconômica restrita a umas poucas variáveis, o que os induz a salientar em suas análises a “lentidão” da difusão.

Assim procedendo, dois aspectos essenciais, e isto em um nível econômico ainda restrito, são desconsiderados. Em primeiro lugar, a inovação costuma de início apresentar problemas que são corrigidos pela aprendizagem, e em geral, sua *performance* não é superior em todos os aspectos à antiga tecnologia. Em segundo, por que as velhas combinações, usando a expressão de Schumpeter, não morrem de imediato, mas pelo contrário, normalmente há uma reação e ocorrem aperfeiçoamentos, afora o fato de normalmente apresentarem preço cadente (como se deu com a bomba de Newcomen) e não ser inusual apresentarem uma aceleração do aumento de *performance*, sobre o que não temos informação neste caso.

No caso da MV, a bomba de Newcomen tinha a vantagem de apresentar um custo de capital bem inferior, ainda que um custo de combustível bem maior. Dado este *tradeoff*, e certamente existiam outros, como manutenção e *performance*, o analista deve tornar-se bastante cauteloso.¹ Além disso, a maioria das inovações introduzidas por B&W foi adaptada à bomba de Newcomen, tornando-a também um gerador de energia, ainda que parece não ter conseguido igual êxito, principalmente com relação ao duplo efeito. Na literatura não há referência a inovações introduzidas na máquina de Newcomen que tenham sido aproveitadas pela máquina de B&W. Mas sabe-se que isto pode ocorrer. Em suma, dá-se um processo de

¹ WATT JR., em carta de 1790, afirma que uma máquina de um concorrente com força de quatro cavalos (unidade de medida desenvolvida por Watt, que veio dar origem à unidade cavalo-vapor) custava £200, enquanto a de B&W, £400 a 500. (MUSSON, E. A.; ROBINSON, E. The early growth of steam power. *Economic History Review*, v. XI (3), p. 423, 1959). Nesta mesma carta, Watt Jr. afirma que a soma a mais em dinheiro, necessária à aquisição de uma máquina de B&W, surpreendia os potenciais clientes, e que era muito difícil fazê-los compreender as vantagens derivadas do movimento mais regular, da menor manutenção necessária e da economia de combustível, comparativamente ao maior capital aplicado. Aceitando-se sua argumentação como expressão de um comportamento, e não tomando-a como uma "desculpa" para a dificuldade de venda, se por si só cálculos de *tradeoff* são complexos, concluir-se-ia que o cálculo econômico ainda era fundado sobretudo no capital aplicado, e portanto, não levando em consideração as variáveis que mais claramente deveriam influenciar a decisão.

concorrência entre tecnologias, nova e antiga, interativo, estimulador de inovações incrementais, que melhoram o desempenho e a qualidade de ambas as tecnologias.

Tann e Breckin, no trabalho mais bem documentado quantitativamente a que tivemos acesso,¹ apuraram um total de 110 máquinas exportadas por B&W no período 1778-1825, sendo apenas 25 delas exportadas até a virada do século. Os maiores usuários foram os setores de transporte (36%), cunhagem (14%), serviços públicos (11%) e moagem (10%). Vale notar que para a indústria têxtil, considerada por vários autores como o “motor” da revolução industrial, a exportação foi de apenas três máquinas, todas em torno de 1820, sendo a potência média de 10 HP, enquanto a média de todas as máquinas exportadas no período 1800-25, foi de 21,4 HP.

Observam os referidos autores que os países destinatários dessas exportações já usavam, ou haviam usado, bombas de pressão atmosférica (bomba de Newcomen) e, ainda que os argumentos não sejam plenamente convincentes, concluem que nos países que tinham começado a desenvolver uma capacitação técnica própria, baseada na bomba de Newcomen, a máquina de B&W foi introduzida mais lentamente. A conclusão que nos parece mais relevante é que a capacitação em termos de projeto e produção, faz com que os países “pirateiem” ou rapidamente passem a ter produção local, enquanto nos países em que a capacitação é menor, claramente não há MV ou a importam.

Esses fatos corroboram a idéia de que o chamado capitalismo atrasado é do ponto de vista técnico e da concentração do capital mais “fácil” que o retardatário. Contudo, o fato de a

¹ TANN, J.; BRECKIN, M. J. The international diffusion of the Watt engine, 1775-1825. *Economic History Review*, v. 31, n. 4, p. 541-564, nov 1978. Observam os autores que os preços de exportação eram de 20% a 30% superiores aos do mercado interno.

Alemanha, um daqueles países, já em 1790 ter produção própria, com a liderança cabendo a três empresas estatais, deve acautelar a cortes abruptos.

Relativamente cedo já surge alternativa a MV de B&W, uma vez que em 1780, Hornblower desenvolve uma máquina de múltipla expansão através da adição de um cilindro de alta pressão à máquina de Watt. No entanto, ela é motivo de uma petição de Watt, sendo considerada uma violação de sua patente. Bull, que fora responsável por instalações de MV de B&W, projeta em 1792 um sistema sem balancim e com construção simplificada. Porém também é impedido de construir tais máquinas sob a alegação de infringir a patente de Watt. Os dois tipos de máquinas serão retomados após expirar a patente de Watt. A concorrência não se restringia, entretanto, a eventuais alternativas técnicas que vieram a mostrar-se para certos usos superior à máquina de B&W. Segundo Musson e Robinson, a firma Bateman & Sherrat, que já havia construído um número bastante significativo, seja de engenhos do tipo da bomba de Newcomen, seja máquinas pirateadas, isto é, com tecnologia copiada de B&W (e provavelmente até com produção maior que esta para a indústria têxtil), já estava completamente apta a produzir MV do tipo B&W um pouco antes de expirar a patente, pois tinha instalações, projetos e fornecedores.

Em 1800, é construída uma máquina de duplo efeito e alta pressão por Trevithick, engenheiro das minas da Cornualha (região onde se concentravam as minas de estanho), que quatro anos depois já havia colocado cerca de 50 delas em operação.¹ Esta primeira máquina, ainda que sua concepção tenha princípios diferentes da máquina de Watt, ainda usa várias das soluções encontradas por este. No ano seguinte chega a novas soluções para a caldeira (que faz

¹ A informação provém de carta de Trevithick, na qual afirma que estavam usando-a não apenas para bombeamento de água, mas também em usinas de açúcar, moinhos de cereais e "laminadores". (DICKINSON, op. cit., p. 189). A firma B&W em 25 anos havia fabricado 486 máquinas, ampliando substancialmente seu uso em relação à máquina de Newcomen, pois deste total, apenas 1/3 era usado para bombeamento de água.

a entrada de vapor a alta pressão) e um tubo de chaminé que permite o refluxo do vapor, aumentando a eficiência de uma MV desenvolvida para operar um auto-locomotor - que como veremos no capítulo sobre a ferrovia é decisivo na evolução da locomotiva.¹ Em 1802, Trevithick constrói em Coalbrookdale, uma máquina de bombear experimental, do tipo com balancim, operando a pressão de 145 lb/pol². Segundo Stowers, “ela assombrou todos aqueles que a viram, em razão de seu tamanho reduzido em relação a potência desenvolvida”.²

A pressão é um parâmetro central, pois influi na relação tamanho da máquina/potência. As máquinas de Watt operavam a uma pressão máxima de 2 a 3 lb/pol², o que impossibilitava seu uso na geração de energia em locomotivas. Para se ter um indicador: a locomotiva usada na primeira linha de intenso tráfego comercial aberta ao público, a linha Manchester-Liverpool em 1830, estava equipada com uma MV de alta pressão que operava sob uma pressão de 50 lb/pol².

O gênero de máquina concebida por Trevithick, que ficou sendo conhecida como da Cornualha (*Cornish engine*), por ter sido concebida e aperfeiçoada por engenheiros e usuários da região, tinha um ciclo (compressão-descompressão-produção de trabalho) bem mais sofisticado que o da máquina de Watt. Naquela, o vapor é introduzido a alta pressão sob a ação de uma caldeira, a taxa de expansão era muito superior, e não havia comunicação direta entre o condensador e o cilindro, fatores que levavam a apresentar substancial aumento de eficiência.³

¹ Mais uma vez, numa fertilização cruzada, seja ao perseguir novos usos seja na busca de aperfeiçoamentos, ocorrem inovações incrementais.

² STOWERS, A. The stationary steam-engine, 1830-1900. In: SINGER, C. et al. (eds), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v. V, p. 189.

³ A maior taxa de expansão, que na máquina de Watt era de 1,5 vezes, enquanto na *Cornish* que já em seu início era de 6 vezes, vem atingir 9, se dá em razão do ciclo se dar em dois estágios. No primeiro, de entrada

Surgem várias alternativas, usando este ciclo (da mesma forma conhecido como *Cornish*): com ou sem balancim, de efeito simples e duplo (que consiste em dois cilindros, um de baixo e outro de alta pressão). Esta última, permitia ainda maiores taxas de expansão, maior uniformidade do torque do virabrequim e maior grau de tolerância com relação ao desalinhamento de partes móveis,¹ portanto maiores eficiência e regularidade e menor exigência dos materiais. Apesar do balancim não ser uma boa solução, ele ainda é usado por um longo período, devido sua facilidade de construção, que não exigia partes planas.² Afirmam Stowers, que outra vantagem das máquinas tipo da Cornualha, é o melhor revestimento do cilindro, da caldeira e das tubulações de vapor, o que depende estritamente de capacitação técnica, e não da concepção da máquina.³

A concepção de Hornblower é retomada por Woolf, este também engenheiro de minas na Cornualha, que em 1803 obtém patente para uma máquina composta. Contudo, a máquina que constrói para uma cervejaria, não obtém bons resultados. Em 1814, ao que parece instigado pela acentuada queda da performance das máquinas construídas por B&W em uso na Cornualha, retoma, e desenvolve outra máquina com o ciclo *Cornish*, composta, operando sob uma pressão de 50 lb/pol² e com uma taxa de expansão de 8 a 9 vezes - que esta sim será usada, ainda que em escala bem inferior àquelas segundo a concepção de Trevithick.

do vapor no cilindro, que é fechado a certa altura do ciclo, no segundo, o pistão se move pela diferença de pressão entre a sua parte superior e a parte inferior, que está sob pressão inferior à atmosférica.

¹ DICKINSON, op. cit., p. 191.

² No capítulo seguinte veremos que as partes planas representavam grande dificuldade para os fabricantes, o que só veio a ser resolvido na década de 20 com um máquina de aplainar.

³ STOWERS, op. cit., p. 127.

Em 1800, o débito estimado de uma máquina de Watt, era de 30 m ft-lb (quantidade de água/altura/quantidade de combustível).¹ A partir de 1811, preocupados com a queda do rendimento (medido pelo débito) das máquinas fabricadas por B&W em razão da inadequada manutenção,² os mineradores da Cornualha passam a levantar e publicar regularmente estatísticas de rendimento. Em 1811, a média de 12 máquinas foi de 17 m ft-lb; em 16, para 35 máquinas, a média foi de 23; em 26, 51 máquinas apresentaram uma média de 30,5 e em 44: 68 m ft-lb.³ A publicação regular de tal estatística, que demonstra, creio que pela primeira vez, uma preocupação sistemática generalizada com a eficiência de processos industriais, emula tanto produtores quanto usuários à melhoria da tecnologia, mostrando claramente que o controle, em última instância sobre a rentabilidade do capital, ascendia ao primeiro plano. Não é pois por acaso que os autores costumam ver em tal publicação um estímulo não apenas para Woolf, mas também para as máquinas de Trevithick, o qual apesar de em 1812 ir à falência, sendo obrigado a vender sua patente, concebe outros tipos de máquinas e continua a incorporar inovações à sua máquina original, o que sabe-se também é feito por outros.

Outra direção do progresso técnico foi na linha concebida por Bull. Em 1803, Freemantale, usando um princípio geométrico aplicável à conexão entre dois pontos que têm de ser conectados por um movimento circular, a biela do pistão passou a movimentar-se em linha

¹ DICKINSON, op. cit., p. 191.

² A firma continuou ainda em operação por muitos anos, dirigida por seus filhos. Stowers, afirma que B&W abandonou os usuários da Cornualha, por causa da disputa acerca do pagamento de *royalties*. (STOWERS, op. cit., p. 126).

³ DICKINSON, op. cit., p. 193/4. A fastidiosa citação de valores, visa mostrar um fato corrente: a eficiência (e muitas vezes o mesmo se dá com a produtividade) costuma ser um múltiplo em uma década. E de forma a não deixar dúvida sobre os violentos aumentos de performance: em 1844, tais máquinas apresentavam um rendimento 11 vezes superior às de Newcomen usadas em 1767.

reta, dispensando o uso de certas válvulas e do balancim.¹ Este tipo de máquina, que ficou sendo conhecida como *grasshopper* foi usada nas fabricas de pequeno e médio porte. Outros trabalham a partir desta idéia, e em 1807, Maudslay, um dos mais inovadores empresários da indústria de máquinas-ferramenta, patenteia um modelo muito mais compacto que a máquina de Watt, conhecida como *table-engine*, que vem a predominar no mercado dos pequenos usuários.

Apesar destas alternativas técnicas, e outras que para nossos propósitos não vale tratar tendo em vista seu restrito uso no período em que estamos enfocando, a máquina de B&W prossegue dominando entre os grandes usuários industriais. Até 1845, quando é encontrada uma solução que a permite operar a alta pressão, os únicos aperfeiçoamentos mais significativos por que passa, são: introdução de uma válvula de distribuição (patente de Murdock, de 1799 e depois melhorada por um competidor de B&W, Murray) e a construção do balancim e das conexões de ferro fundido.²

Por volta de meados da década de 1820, delineia-se uma divisão clara relativamente ao uso da MV, a qual perdurará por várias décadas. A máquina de Watt, domina entre os usuários de porte, enquanto a de Maudslay, os pequenos e médios; para bombeamento de água, seja em serviços públicos, seja nas minerações - máquinas do tipo de Trevithick.

A pergunta que fica: qual a razão para que a MV de Watt continue sendo usada, tendo em vista que as máquinas de alta pressão eram muito mais eficientes?³ A única hipótese que encontramos, incompleta, já que a literatura não põe tal questão, diz respeito a fabricação.

¹ DICKINSON, op. cit., p. 195/6

² DICKINSON, op. cit., p. 196. Murray é considerado pelo autor, o principal concorrente de B&W.

³ Apenas para citar um valor: em 1811 é feito um teste com uma máquina de Woolf, que apresenta uma economia de combustível de 50% relativamente à de Watt.

Em Stowers, fica claramente sugerido que a solução de Savery, sem pistão, mas exigindo alta pressão, é uma precursora de Trevithick, porém “os materiais e métodos não eram adequado; donde o progresso nesta direção foi impedido.”¹ Usher, mais radical, sustenta que Papin (o denominado digestor de Papin data de 1682 e seus primeiros trabalhos sobre o vapor como força motriz, de 1690), estivera bem próximo de “descobrir todos os elementos essenciais”,² e que várias tentativas foram feitas no sentido de usar vapor a alta pressão. Todavia, as exigências técnicas as impossibilitaram.³ Stowers observa que ainda em 1840, “a perícia envolvida no fabrico e montagem de máquinas de tal porte (*Cornish engines* para bomebeamento de água) são tão grandes diante das limitadas capacidades disponíveis, que é de admirar e respeitar terem conseguido tal feito.”⁴ Reaparece com todo vigor a determinação das condições técnicas, o papel da interdependência e a importância da metalurgia e da indústria de máquinas-ferramenta.

III

Nesta altura cabe fazer uma síntese e tirar algumas conclusões.

1. A indústria de bens de capital, fundamental no desenvolvimento do capitalismo, como se deu com as máquinas têxteis desenvolvidas por Robertson, mas de forma ainda mais

¹ STOWERS, op. cit., p. 124.

² USHER, op. cit., p. 299.

³ “Indiscutivelmente o fator que fixava o limite (de pressão) não era a concepção da máquina, senão as dificuldades práticas de produzir e utilizar o vapor a pressões elevadas.” (USHER, op. cit., p. 300).

⁴ STOWERS, op. cit., p. 127.

acentuada que estas, exige um grau bem superior de sofisticação em termos técnicos, comerciais e de volume de capital necessário, o que cada vez mais caracterizará o capitalismo.

O inventor da MV provém de família com algumas posses e consideráveis laços entre os círculos técnico e científico, e ele mesmo cultuará ao longo de sua vida tais relações. Associa-se a um empresário extremamente dinâmico e capaz, que além de herança familiar, recebe duas heranças por casamento, o que lhe permite financiar o desenvolvimento da máquina. Ainda que não tenham sido capazes enquanto “homens simples” de promover o desenvolvimento das tecnologias que conceberam, os primeiros inovadores da indústria têxtil eram um barbeiro e comerciante de peruca, um tecelão e carpinteiro e um fazendeiro e tecelão.

2. A relação da MV com a indústria carvoeira é da maior impotência, e serve para ilustrar fortes relações interativas dinâmicas. A extração do carvão havia recebido grande estímulo proveniente do aumento da demanda de serviços públicos e da urbanizações em geral, e de seu uso na metalurgia em substituição à madeira. Da indústria do carvão provém o primeiro grande impulso para o desenvolvimento da MV.

A Inglaterra era privilegiada, pois possuía tradição nesta indústria, vastas reservas de carvão de baixo custo, uma vigorosa navegação marítima e ampla disponibilidade de um sistema de navegação fluvial (canais que já vinham sendo construídos e que tomaram vigor redobrado com a expansão provocada pela revolução industrial).

Por outro lado, a própria indústria carvoeira é beneficiada com a MV tanto do ponto de vista de mercado, uma vez que o uso do carvão é ampliado e sua demanda aumenta, quanto técnico (por exemplo permitindo a extração a profundidades maiores).

3. Outro setor que se beneficia é o de transportes, tanto marítimo quanto terrestre. A MV virá permitir o surgimento das locomotivas, que a partir dos anos 30 do século XIX, provocará o surgimento de um novo setor, para o qual a contribuição da metalurgia também é

decisiva - o transporte ferroviário. Este levará a um *boom* de investimentos com efeitos generalizados (sobre a indústria metalúrgica, mecânica e de carvão e sobre o emprego), internacionalmente, e exigirá novas formas de financiamento, sobretudo a difusão do sistema acionário que era praticamente restrito ao sistema financeiro, que por seu turno provocará mudanças na forma de organizar as empresas.

A disseminação do transporte ferroviário facilitará as comunicações e o transporte de mercadorias e rebaixará custos de transporte, ampliando deste modo o espaço físico e econômico para o desenvolvimento do capitalismo.

4. Voltamos a insistir que um ponto central no surgimento e desenvolvimento da MV são as relações interindustriais. A MV é promovida pelo desenvolvimento do capitalismo, mas simultaneamente permite e promove outros setores. Há a formação de vasta e complexa rede de interdependências com fortes efeitos para trás e para a frente, dinamismo este tanto de ordem econômica quanto técnica.

A redução de custos produz efeitos dinâmicos equivalentes, os quais, convém recordar, tendiam a redundar em rebaixamento de preços, com conseqüente alargamento do mercado, e de modo geral, a formação do círculo virtuoso do desenvolvimento material exposto na introdução.

5. A MV torna a indústria independente da localização à beira de certos cursos d'água e dos estreitos limites que a força hidráulica impunha (dada a tecnologia existente, já que a eletricidade, que virá provocar nova onda de transformações, é de finais do século XIX).¹ Com isto possibilita a migração integrada das indústrias para os centros urbanos, local que veio a se mostrar privilegiado para o desenvolvimento industrial, pelas facilidades de comunicação,

¹ Na verdade, a energia de origem hidráulica mantém-se uma fonte importante. Mas como viremos discutir nas conclusões, isto não invalida nem muito menos reduz o significado da MV.

mercado e mão-de-obra. Ou seja, além de outros aspectos concentradores, permite a concentração geográfica da produção.

6. A história da MV faz transparecer a contradição social-privado, através do instituto da patente. Por um lado, é pouco provável que capitais privados se lançassem em busca de inovação de alto risco e elevado investimento sem a garantia de uma patente que permitisse vislumbrar uma maior chance de rentabilizar o capital. Por outro lado, seu caráter monopólico tende a conduzir a um desenvolvimento mais lento do que muitas vezes seria possível sem o direito privilegiado de exploração permitido pela patente. A apropriação privada de valor é inerente ao capitalismo, mas a tecnologia é produto do conhecimento social acumulado e, seu uso disseminado e/ou mais rápido produz fortes efeitos no sistema produtivo como um todo.

Antes mesmo da maturação da MV de Watt, já surgem alternativas tecnológicas, cujo desenvolvimento é impossibilitado pela patente do condensador. Não é possível afirmar que necessariamente elas pudessem ainda no século XVIII vir a tornar-se uma alternativa economicamente viável. No entanto, podemos tomar como um claro sinal de que as condições materiais já haviam amadurecido, já que imediatamente após a expiração da patente, tais alternativas são retomadas - e rapidamente têm uso comercial. E talvez ainda mais importante, o desenvolvimento de uma destas alternativas, é o primeiro passo, essencial, na evolução da locomotiva.¹

7. Seu processo de desenvolvimento se dá em uma longa caminhada, em que idéias para a superação de limites ou dificuldades colocadas repõem novas dificuldades, que para suas soluções exigem diversas contribuições em termos de pessoas, empresas e setores industriais.

¹ A ferrovia deve ser entendida como um sistema complexo como veremos no respectivo capítulo. De qualquer modo, a locomotiva mostrou-se do ponto de vista técnico seu componente mais delicado.

A história de seu desenvolvimento mostra-nos um longo processo de sucessivas superação e recriação de novos obstáculos, o que se pode considerar como um aspecto típico da inovação. Neste processo, a inovação não é apenas caracterizada por novas idéias e novas formas do fazer técnico, mas também de inovações comerciais. Nota-se um processo cumulativo de aprendizagem e geração de conhecimento, que demonstra como pequenas melhorias não são desprovidas de importância – e até mesmo são, em conjunto, de grande significado.

O valor econômico da indústria de máquinas a vapor, se medido pelo valor da produção, certamente será uma decepção, e ainda muito pequeno mesmo considerando as relações interindustriais. Mas esta forma de avaliação pode ser enganadora, como tentamos mostrar. Apenas através de seu potencial dinâmico global podemos nos aproximar de seu significado, como em qualquer outra atividade econômica inovadora.

Podemos considerar a MV como a primeira máquina em "sentido integral", na medida em que opera automaticamente por meio de mecanismos que independem da ação humana direta, constituindo-se desta forma na primeira máquina "típica" do capitalismo e desta forma portadora dos efeitos examinados na introdução. Libera definitivamente a produção industrial da força humana e provoca a regularidade operativa, ou ainda, torna possível o sistema de máquinas (a produção fabril), portanto permite a existência de uma economia de produção generalizada de valores. Promove a unidade técnica, desde setores de infra-estrutura urbana e de exploração mineral, até os mais diversos ramos industriais, tornando relativamente mais uniformes as possibilidades de desenvolvimento técnico e conduzindo à ampliação da centralização do capital. Estabelece estreitas conexões interindustriais, impulsionando a autonomia do capital industrial. Abre vastas fronteiras de investimento, possibilitando até mesmo a criação de ramos inteiramente novos.

Há autores, do nível de Hobsbawen e Schumpeter, que sustentam resumir-se a revolução industrial à indústria têxtil. Já Lilley entende ser inimaginável uma revolução industrial sem a explosão do algodão e inconcebível sem a expansão da metalurgia. Entendemos que se usarmos uma expressão forte, como revolução, necessariamente há que se ter um conjunto de metamorfoses, irreversíveis, o que só pode se dar não por uma indústria isoladamente, mas por um *cluster*, que arrasta consigo, provocando mudanças de menor amplitude no restante das atividades. A MV, ainda que exemplar e basilar, é apenas uma parte deste processo.

Em parte, as discordâncias derivam do conceito de revolução. Por esta razão, vale enunciar que entendemos por revolução não um evento único ou decisivo, como dizia Braudel, mas um processo de profundas transformações, intenso e com certa concentração no tempo, ainda que pode, e comumente é, precedido por algum evento desta natureza. Não é um rompimento que se esgota em um momento singular, ainda que este possa ser decisivo, mas uma multitude de mudanças, relativamente pequenas, se olhadas de per si, que provocam uma transformação, de caráter qualitativo. É um processo, que, para ter abrangência, continuidade e solidez, exige o transcurso de um período de tempo relativamente considerável.¹

Há uma tendência a considerar 'fáceis' as mudanças das condições técnicas que se dão no período analisado, e apenas para lembrar, dois autores (Hobsbawen e Lilley) assim as consideram. O distanciamento no tempo e a falta de uma verdadeira intimidade com o período parecem-nos motivo para assim entenderem. Mas o mais importante, a MV nega integralmente Lilley, que afirma: "estas eram invenções 'fáceis' de serem realizadas, no sentido que não

¹ Qual o intervalo de tempo, reconhecemos levantar uma dificuldade: como estabelecê-lo, sem ser arbitrário? Uma forma de encaminhar é que depende do horizonte histórico. Se olharmos do ponto de vista da história humana, um século, que vai desde o início do período que analisamos, até a maturação da grande indústria, não nos parece abusivo.

requeriam nenhuma qualificação especial nem treinamento. Podiam ser feitas por “qualquer homem inteligente que tivesse suficiente entusiasmo e visão comercial.”¹ A MV é complexa no sentido de um “grande” sistema, constituído de um conjunto de subsistemas (naturalmente para os termos da época, pois é incomparavelmente mais simples que, por exemplo, o automóvel de aproximadamente um século depois); exige um volume elevado de capital e um processo de aprendizagem, com perdas, pois as tiveram durante um bom tempo. Não bastou um homem inteligente, mas dois. Um com muito talento e boa formação para as questões técnicas, com relações não apenas no meio técnico, mas também científico. Outro, herdando muitas mil libras, com uma incrível clareza das necessidades e potencialidades do capitalismo, ativíssimo nos meios aristocráticos e burgueses e com um atilado senso comercial. A MV, em geral, é entendida como uma exceção. Mas o ponto para o qual queremos chamar a atenção é que estava justamente sendo anunciado o que viria a ser dominante já no primeiro quarto do século XIX.

Outra razão aventada para entender como fácil a revolução industrial é que o papel da ciência teria sido quase nulo. Mais uma vez, parece-nos que a partir de uma perspectiva a posteriori, faz-se uma simplificação histórica. Ainda que as relações diretas entre ciência e progresso técnico sejam muito mais no sentido da tecnologia pôr questões à ciência, e conforme mostrado por Hall, devido a um desenvolvimento insuficiente dos novos materiais,² portanto das limitações da capacidade técnica, pode-se afirmar que o século XIX inaugura a introdução da mensuração sistemática na produção. A importância dos instrumentos de

¹ LILLEY, p. 194.

² HALL, A. R. Engineering and the scientific revolution. *Technology and Culture*, Fall, 1961.

mensuração, os quais estão intimamente relacionados à ciência, bem como ao relógio,¹ é decisiva no desenvolvimento industrial, como apontado por vários autores (e não se deve esquecer que a primeira profissão, tanto de Watt como de Smeaton, outro engenheiro com características semelhantes às de Watt, é justamente a de fabricante de tais instrumentos). Watt faz um trabalho sistemático de busca das informações e conhecimentos disponíveis na tentativa de obter as melhores soluções, dando-se por satisfeito somente quando tem alguma “prova”, não apenas de forma empirista, mas também em laboratório – isto tudo aliado a uma curiosidade científica de busca de princípios gerais. Se o espírito científico não tivesse invadido o sistema produtivo, por meio da sistematização e da realização de testes e contribuído decisivamente para a introdução da observação metódica e da experimentação nas inovações, não nos parece imaginável que tudo isto pudesse ocorrer.

A periodização, por ser muitas vezes feita a partir da análise de alguma ruptura considerada básica pelo autor, costuma ser para os historiadores uma questão polêmica. Procedendo deste modo, a tendência é cair em uma visão “estática” da história, e não em termos de processos (que, há que reconhecer, por seu turno correm o risco de caírem em alguma forma de determinismo) — e pior que tudo, sem uma fundamentação teórica. Por estas razões, torna-se arbitrária, já que não há uma “lógica” que oriente a escolha de critérios, que fica ao sabor da importância que o autor lhe confere. Por outro lado, só podem ser “resolvidos” problemas de periodização – tais como: a) “é aceitável sustentar que uma revolução dure 100 anos para se completar?” b) “é adequado datar a revolução industrial do último quarto do

¹ A única relação de destaque aceita por Hall entre ciência e tecnologia antes do século XIX, é a preocupação com a exatidão, portanto com a mensuração, cuja origem em grande medida se deveria ao trabalho dos astrónomos em seus pedidos e contactos com os fabricantes de instrumentos e relógios. (HALL, op. cit., p. 337/8).

século XVIII, dadas as transformações qualitativas se acelerarem no segundo quarto do século XIX, quando a indústria de máquina-ferramenta se consolida, com a maior intensidade da mecanização, aumento dos ritmos de crescimento e de investimento, e com o ciclo ferroviário?" – quando fundamentados teoricamente. Por seu turno, fornecem elementos à teoria, como por exemplo, "que significado pode ter afirmar que uma revolução se completa?"

Schumpeter, por exemplo, desqualifica as inovações que se dão neste período, as quais estariam em uma fase preparatória e reconhece terem ocorrido casos de sucessos, mas desprovidos de importância.¹ Ainda que a esta altura não esclareça sua posição, dada sua visão teórica – em que a dinâmica capitalista, a inovação, o ciclo, o empresário e o crédito para financiar a inovação, que é obra do empresário, formam um todo indissociável –, sua postura parece-nos defensável. Coerente, acorda com Tugan Baronovsky em datar a descontinuidade do segundo quarto do século XIX, devido ao ciclo ferroviário. Todavia, não concordamos quando considera ultrapassada certa concepção da revolução industrial, como uma série de eventos que criou uma *nova ordem econômica e social*, pois, como tentamos mostrar na introdução, é apenas aí que se pode, com propriedade, falar de capital em geral, e portanto de capitalismo, e de transformações sociais profundas.

O exame do processo de inovações mostrou que dicotomias, como a disjuntiva mercado puxa ou tecnologia empurra, ou o corte entre inovação e difusão podem operar reduções ao objeto de análise. Uma análise mais apurada é mais complexa, e não envolve relações "lineares" de causa e efeito. Mesmo assim, dependendo dos objetivos, concepções inadequadas como estas, se são impróprias para um estudo de natureza histórica, podem ser aceitáveis, como o foco sobre o mercado, para um estudo de caráter microeconômico.

¹ SCHUMPETER, J. A. *Business cycles*. Abridged ed. New York : McGraw-Hill, 1964, p. 183.

O ecletismo, ao procurar negar concepções estabelecidas introduzindo novos “fatores explicativos”, tem, não por acaso, tendido a pecar pelo rigor conceitual, e obscurecido, quando não desconsiderado, os determinantes fundamentais. Acaba assim por perder de vista a historicidade, e, por pretender “tudo ser”, contém os germes de sua crítica, contradizendo-se, ou criando problemas insolúveis para sua própria “concepção”.

CAPÍTULO III

METALURGIA E MÁQUINAS-FERRAMENTA

A maioria do capitalismo se dá com a constituição do departamento de bens de produção. Neste capítulo examinaremos o desenvolvimento das indústrias metalúrgica e de máquinas-ferramenta que são, no período sob análise, o seu núcleo.

A indústria metalúrgica, que já desde o início do século XVIII exige elevados volumes de capital, é a primeira grande usuária de máquinas, que ela mesma fabrica. Neste sentido pode, pois, ser entendida como a primeira indústria tipicamente capitalista. Todavia, a produção de ferro (gusa, maleável ou fundido) é um processo químico, cujos fundamentos foram sendo conhecidos à medida que a própria indústria evoluía. Só em finais do século XIX ele atingiu um nível que pôde efetivamente auxiliar tecnicamente a indústria, o que em alguma medida foi um limitante do progresso técnico, dada a complexidade do processo.

No século XVII, várias são as tentativas de produção de ferro a partir de carvão, chegando a serem obtidas quatro patentes, apesar de apenas uma delas apresentar sinais de ter chegado a bom termo. No início da década de 1710, Darby, o primeiro de uma dinastia de industriais da metalurgia, que havia arrendado um alto forno e que por sua experiência na montagem de cervejarias tinha conhecimento de carvão de baixo conteúdo de enxofre (o que auxiliava sobretudo seu uso para a produção de ferro), comprovadamente usa coque, misturado a carvão de lenha e possivelmente a outros materiais, na redução do minério de ferro. O produto obtido, ainda que inadequado para o uso corrente em forjarias, era por ele utilizado para a fabricação de utensílios domésticos, apresentando a vantagem de menor peso

que o ferro de carvão de lenha. Com sua morte, pouco antes do fim da década, o processo deixa de ser usado.

O argumento tradicionalmente levantado para a substituição de carvão de lenha por carvão mineral é o custo e a escassez absoluta de madeira na Inglaterra. Vários autores, em trabalhos mais recentes negam este argumento.¹ Depoimentos como o de Darby, afirmando que “o que eu proponho, se bem administrado, trará de volta (para baixo) a madeira, para seu antigo valor”², ou de outro industrial da metalurgia, Wood, que afirma que as elevadas importações de ferro se deviam a “falta de lenha para carbonizar”³, comprovam que os contemporâneos tinham esta preocupação. Porém, a questão mais importante não está no papel que a escassez ou o custo do carvão de lenha possa ter desempenhado na sua substituição, mas na direção do progresso técnico, que afinal veio a permitir que a Inglaterra viesse assumir a liderança mundial, quando sua indústria mostrava-se em atraso em relação pelo menos à Suécia e à Rússia.

O carvão de lenha, mais friável que o mineral (ou o coque), impunha limites ao aumento da altura do forno, pois não suportava a pressão necessária para manter a combustão e a altura da carga e tendia a esfarelar-se, perdendo sua capacidade de combustão. Pelas mesmas razões, só resistia ao transporte a curtas distâncias, o que obrigava a implantação de indústrias que atendessem às condições de proximidade de florestas, de água (devido à necessidade de

¹ Por exemplo, RIDEN, P. The output of the British iron industry before 1870, *Economic History Review*, 30(3), 1977, p. 457.

² Carta de Abraham Darby, de maio de 1712, reproduzida em CHALONNER, W. H. Further light on the invention of the process for smelting iron ore with coke, *Economic History Review*, II(2), 1949, p. 187

³ Citado em DANILVESKY, op. cit., p. 157.

energia) e de minério de ferro. Assim, e também por ser a indústria secundária (forjarias), de reduzida escala e dispersa, a produção de ferro era extremamente descentralizada.¹

O uso de coque, que reduz as impurezas do carvão, em particular o enxofre, era comum como combustível; no entanto, na metalurgia, tem também a função de reduzir o minério de ferro.² As dificuldades apresentadas pelo uso do coque advêm de sua grande variedade de composição e por introduzir impurezas (silício, fósforo, enxofre e carbono) no processo de redução do ferro, já que entrava em contato direto com este, o que era amplificado, pelo fato de ser fosfórico o minério de ferro comumente usado. Por estas razões, mas provavelmente também por ser a mistura utilizada no alto forno resultante da experiência empírica, o uso de coque só é retomado por Darby II, nas décadas de 1730 ou 40. Em 1742, Darby instala uma bomba de Newcomen, de forma a elevar água para movimentar uma roda hidráulica mais potente, de modo a aumentar a pressão do ar injetado, o que se fazia necessário ao usar coque, de queima mais difícil que o carvão de lenha.³ E, ao que tudo indica, introduz calcário na mistura, conseguindo reduzir o conteúdo de sílica.⁴

Segundo Riden, a partir de 1750 não mais são construídos altos fornos a carvão de lenha para a produção de ferro-gusa. Ainda que Tylecote mencione a construção de alguns

¹ Na verdade, a indústria secundária, como mostra Mantoux, em parte era organizada segundo a produção de tipo doméstica, e em certas localidades, com corporações.

² A combustão do coque, além de aquecer o forno, libera monóxido de carbono que, combinando com o óxido de ferro do minério, produz ferro metálico, o qual, posteriormente, pelo efeito da injeção de ar, incorpora carbono, para formar ferro gusa.

³ A injeção de ar é necessária não apenas para manter a combustão como para fornecer oxigênio ao processo de oxidação.

⁴ O calcário tem esta função de fundente que, combinando-se com a sílica do minério, permite sua separação na escória, e também como fonte adicional de monóxido de carbono para a redução do minério.

poucos (o último deles, de 1761¹), o fato é que, a partir desta época, vão sendo abandonados os fornos a carvão de lenha e que no período 1775/85 acelera-se a instalação de altos fornos de coque.

GRÃ-GRETANHA: PRODUÇÃO DE FERRO-GUSA, SEGUNDO O TIPO DE
COMBUSTÍVEL, 1745/89
(Produção: média anual em 1.000 t.)

	Carvão de madeira				Coque			
	Quant de fornos	Produção média p/ forno	Fornos desativados	Produção	Quant de fornos	Produção média p/ forno	Fornos instalados	Produção
1745/9	68	375		27	3*			
1750/4	68	380	0	26	4	525	4	2
1755/9	63	390	5	24	11	590	7	7
1760/4	57	395	6	22	18	650	7	12
1765/9	53	400	4	21	26	710	8	19
1770/4	42	405	11	17	30	775	4	23
1775/9	34	410	8	14	41	840	11	34
1780/4	23	420	11	12	56	900	15	50
1785/9	24	425	-1	10	72	960	16	70

* Altos fornos da firma Darby, que foram incluídos pelo autor em carvão de lenha.

FONTE: RIDEN, P. The output of the British iron industry before 1870. *Economic History Review*, 30(3), 1977, p. 448

Observa-se na tabela que a capacidade dos altos fornos a coque entre 1750 e 1790 crescem de mais de 80% e têm mais do dobro da capacidade dos fornos a carvão de lenha. A variável determinante das demais dimensões de um alto forno e de sua capacidade é a altura. Para que esta pudesse aumentar foi preciso aumentar a pressão do ar injetado. E para que isto se tornasse possível foi preciso substituir os foles de couro, que apresentavam ainda alto custo devido ao rápido desgaste, por "cilindros sopradores" (*blowing cylinders*) metálicos, o que foi feito por Smeaton para a metalúrgica de Carron, em 1762. Rapidamente se difundiu seu uso. Mas era também preciso aumentar a potência das máquinas. De início isto foi realizado usando

¹ TYLECOTE, R. F. *A history of metallurgy*, 2nd ed.. London: The Institute of Materials, p. 130.

bombas de Newcomen mais potentes, e o mesmo Smeaton, ao introduzir à esta época alteração nas paletas das rodas hidráulicas e construí-las totalmente de metal, aumenta sua potência e eficiência. Contudo, a solução para a necessidade crescente de potência só foi resolvida com o uso da máquina a vapor, que além disto apresentava a vantagem de ser acoplada diretamente ao cilindro.¹

A quantidade de enxofre no gusa tornava-o impróprio para uso em forjaria, pois fazia-o muito quebradiço e aumentava o custo e o tempo de produção de ferro maleável. Segundo Tylecote, uma indiscutível autoridade em metalurgia, a partir de análises de ferro-gusa *da época*, conclui que “isto mostra que Darby e Wilkinson, entre eles, resolveram o problema do enxofre. Apesar de ambos terem usado um carvão de baixo conteúdo de enxofre, esta não foi a principal razão. A principal razão foi o uso de calcário com alto índice básico, o qual exigia uma alta temperatura de trabalho a portanto uma alta pressão. Parece assim que de fato foi o uso da máquina a vapor que tornou isto possível.”²

Alguns autores usam como argumento para a “demora” do uso do coque, pois, como mostramos na tabela acima, foi em um intervalo de 20 a 30 anos que o coque tornou-se predominante, o fato de Darby ter podido dispor de carvão de baixo conteúdo de enxofre e (como notado por Tylecote) com boas propriedades coqueificáveis. Dados o investimento elevado necessário em novas instalações e a queima de um capital também alto, é preciso que a nova tecnologia demonstre significativas vantagens com relação à usual. Como, entretanto, na metalurgia, ao que parece mais que em outras atividades, as inovações incrementais são decisivas, todas as inovações importantes, e não apenas a que discutimos, necessitaram de

¹ Relembramos que no capítulo sobre a máquina a vapor, mencionamos que seu primeiro usuário foi Wilkinson, justamente para esta finalidade.

² TYLECOTE, op. cit., p. 125.

longos períodos de maturação. Mas enquanto na Inglaterra, antes do final do século, imperava a produção de gusa a partir de coque, no restante do continente apenas depois de 1820 foi sendo paulatinamente introduzida esta nova tecnologia.

Desde a década de 1730, e acentuadamente a partir de 1760, inúmeras tentativas são feitas para produzir ferro maleável e em barra a partir de carvão mineral. Entre 1761 e 1784 são outorgadas ao menos nove patentes. A literatura sobre progresso técnico normalmente refere-se de passagem a algumas destas tentativas e centra-se nas inovações de Cort, cujas patentes são de 1782 e 1784. Contudo, Hyde mostra que, a despeito de efetivamente ser com a difusão do processo de Cort que a produção de ferro em barra eleva o ritmo de crescimento, é o processo desenvolvido pelos irmãos Wood, no início de 1760, que dá o primeiro impulso.¹

O processo tradicional de afinamento do gusa, que era lento, dados os sucessivos aquecimentos necessários, e possuía reduzida capacidade por ser muito pequena a quantidade produzida em cada fornada, tinha suas restrições amplificadas com o do gusa de coque, em razão de seu maior conteúdo de sílica.² Os irmãos Wood, desenvolvem um processo em que o ferro gusa, de coque, era aquecido, até a fusão, com carvão mineral. Nesta fase, se ocorria redução da sílica, o carvão mineral introduzia enxofre. De modo a se retirar o enxofre, o ferro, uma vez resfriado, era partido e posto em cadinhos juntamente com um fundente (ou potes, daí ser chamado de *potting and stamping*) que servia de proteção contra contaminação e colocado em fornos reverberatórios. Por fim, com a pressão mecânica do

¹ HYDE, C. K. Technological change in the British wrought iron industry, 1750-1815: A reinterpretation. *Economic History Review*, 27(2), 1974. Segundo suas estimativas, à época da introdução do processo de Cort, metade do ferro em barra era produzido com o processo dos irmãos Wood.

² O processo cujo objetivo básico é descarbonizar consistia em aquecer e retirar a escória (*chafery*), sucessivas vezes, em duas fases (*refinery* e *finery*), de modo a reduzir o conteúdo de carbono, tornando o ferro maleável. Martelar manualmente e depois mecanicamente, de forma a retirar impurezas e homogeneizar o ferro.

martelo obtinha-se o produto final. Aperfeiçoamentos se seguiram no início dos 1760 usando-se coque no forno reverberatório, pois o coque era, a esta altura, em geral produzido em fornos, apresentando conteúdo de enxofre menor que o carvão mineral.¹

A partir de informações de diversas plantas, Hyde, mostra que o diferencial de custos variáveis de matérias primas (os quais se elevam a entre 80% e 90% do total) entre usuários de carvão de lenha e coque situava-se pelo menos entre £2 e £3, uma redução de 13% a 20%. Mas o fato essencial é que este diferencial devia-se ao menor preço do gusa de coque. Enquanto o gusa de carvão de lenha tinha um preço de £7, o de coque era de £4,5.²

Mantoux observa que, da mesma forma como a *jenny* levou os teares manuais a tomaram-se insuficientes, a transformação de gusa em ferro maleável apresentou problema de desbalanceamento. Produzia-se gusa em grandes e crescentes quantidades, enquanto a produção de ferro em barra encontrava-se limitada, dado que o procedimento em baixos fornos obrigava a operar em pequenas quantidades.¹ O tratamento corrente do desbalanceamento tecnológico entende como inevitável que o progresso técnico que acarreta o aumento de produtividade e da capacidade produtiva em uma atividade obriga a mudança tecnológica em atividades conexas, ou ainda, o avanço em uma atividade é visto como um gargalo que é condição necessária e suficiente para promover o progresso técnico nas atividades que lhe são relacionadas, para trás ou para frente, na cadeia produtiva. Esta interpretação é ao mesmo tempo restrita e generalizante. Restrita, ao conceber inovações como se fossem eventos

¹ Em geral é afirmado que a coqueificação do carvão mineral retira praticamente todo o enxofre, o que, se fosse verdadeiro, reduziria em muito as dificuldades. Contudo, Tylecote afirma que com a tecnologia disponível à época, esta redução variava entre 35 a 70%, de acordo com o método utilizado. (TYLECOTE, op. cit., p. 123).

² Na verdade há um problema, não apontado e por isto mesmo não discutido pelo autor. O custo com o processo dos Wood seria maior que o de carvão de lenha, se usasse este, isto é, o diferencial de custo devido ao menor preço do gusa de coque é maior que o diferencial total de custo. (HYDE, op. cit., p. 198/9).

isolados. A tecnologia deve ser vista como um sistema, em que os componentes tanto podem ser atividades como partes mais específicas, como faz Rosenberg. O desbalanceamento provocado em qualquer dos elementos não apenas cria um gargalo que, uma vez resolvido, volta a equilibrar o sistema, mas coloca *novos* desbalanceamentos. Há pois aí uma dinâmica interna ao progresso técnico, ainda que insuficiente para compreendê-lo. Geral em demasia, pois pressupõe que “tudo o mais” esteja previamente determinado, e aí sim seria como o *deus ex machina* de que fala Hobsbawm.

A via de transmissão do desbalanceamento é determinante da trajetória; logo, precisa ser analisada. Normalmente, o argumento é colocado em termos pouco precisos de capacidade de produção e de resposta da oferta diferenciadas entre atividades. Mas é preciso analisar que fatores estão implicados: tempo de produção, produtividade, custo ou preço. No caso que acabamos de mencionar, a inovação na produção de gusa leva a uma *substancial* redução de seu preço usando a nova tecnologia, o que induz vários capitais a tentarem uma solução para o uso do material produzido com esta tecnologia. Há, portanto, uma dependência das grandezas envolvidas e da forma de concorrência.

O momento em que se dá o avanço, bem como a forma de evolução, nas partes conexas está em aberto. O aumento de produtividade na fiação provocou um desbalanceamento entre esta e a tecelagem, no entanto, como vimos, a mecanização desta seguiu um ritmo muito diferenciado daquela, por razões não apenas técnicas, com conseqüências importantes na estrutura industrial e também na estrutura social. O candidato seguinte a sofrer pressões do mesmo tipo é o acabamento, e Mantoux não é o único a acentuar isto. Contudo, pela complexidade dos processos e por razões de organização da produção, o ritmo do progresso

¹ MANTOUX, op. cit., p. 279/80

técnico foi aí muito mais lento. No caso da estampanaria, a despeito da existência de uma inovação, o *roller printing* movido por máquina a vapor para a fabricação de *calicoes*, sua difusão é muito lenta, em boa medida ao que parece, pela conjugação de fatores produtivos (escala) e de mercado (moda).¹ O processo de pudlagem, ainda que venha permitir uma melhor adequação entre as condições técnicas na produção de gusa e de maleável, como veremos adiante é uma solução “parcial”, na medida que a pudlagem mantém-se altamente intensiva em trabalho e dependente da experiência e habilidade do trabalhador, o que só virá a ser definitivamente superado com o progresso técnico na produção de aço levando ao processamento contínuo, aproximadamente um século depois.

Dada a intensidade de uso de uma tecnologia, se for acompanhada de investimentos para seu aperfeiçoamento (e aqui, a concorrência é decisiva), são refeitos pressões e obstáculos a serem vencidos. É claro que, quanto mais complexo um sistema, maior a importância da inovação incremental e maior a necessidade de avanços científicos de forma a que novas soluções sejam encontradas. De qualquer modo, mesmo para a época da revolução industrial pode-se dizer que a inovação incremental tem este papel pouco apreciado, de ao mesmo tempo em que estende os limites do possível de uma tecnologia, criando novos problemas a partes do sistema, acabar por promover a necessidade de novas soluções “globais”. Ainda que não relacionado à metalurgia, é extremamente oportuna uma passagem de Daumas, que percebe esta dinâmica nos instrumentos de precisão. “Foi apenas ao atingir os limites dos produtos de

¹ Segundo estudo de Chapman, S.D. Quantity versus quality in the British industrial revolution: the case of printed textiles, *Northern History*, v. XXI, 1985, citado em LLOYD-JONES; LEWIS, op. cit., p. 176. Baines, afirma que, na fiação, um operário em uma fábrica, produzia o que antes exigia 266 trabalhadores; já na estampanaria esta relação era de 1:100 (citado em KLEM, op. cit., p. 291). Logo, mesmo este diferencial extremamente elevado de produtividade não foi suficiente para estimular o *catch up*.

precisão anteriores que os usuários puderam pedir-lhes que continuamente excedessem este limite.”¹

O desequilíbrio tecnológico, sem dúvida, cria uma pressão para a transformação das condições técnicas, mas de modo algum a dinâmica, nem mesmo a do progresso técnico, está por ele predeterminado. Como poderíamos, por exemplo, explicar que em algumas nações este desequilíbrio possa ser fator de estímulo ao progresso técnico e em outros não tenha este papel ativo? Se acima salientamos a inovação incremental, como veremos na discussão sobre a máquina-ferramenta, esta não é a única possibilidade das interações técnicas terem funções dinâmicas. O que as une é, não a existência de um ou alguns empresários schumpeterianos, mas de “muitos”, em um contexto tal que permita criar o círculo virtuoso do desenvolvimento capitalista.² É de disto que se trata, e não de um genérico desequilíbrio tecnológico.

O que se observa neste período é justamente uma multiplicidade de investimentos, na busca de uma tecnologia para a transformação de gusa em maleável.³ Não é por acaso que nesta altura observa-se uma profusão de novos usos para o ferro: em 1767, os Darby já usam trilhos de ferro das minas até os altos fornos; cubas para cervejarias e destilarias; tubos para abastecimento de água (Paris, 1788); a primeira ponte integralmente de ferro, fabricada pelos

¹ E de forma a ilustrar esta idéia: “O princípio do vernier, o qual era conhecido há um século e meio, passou então a ser usado. Ademais, à medida que um grande número de instrumentos era fabricado, os métodos manuais de divisão não eram mais suficientes e máquinas para dividir foram inventadas. Com estas tornou-se possível projetar novos instrumentos e pô-los em uso prático.” (DAUMAS, M. *Precision mechanics*. In: SINGER, C. et al. (eds.), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v. IV, p. 380)

² Implícito está uma visão crítica do empresário que heroicamente, enquanto destemido indivíduo, desbrava terras antes desconhecidas, abrindo solitariamente novas frentes para o avanço capitalista, interpretação relativamente comum do empresário schumpeteriano.

³ Todas as grandes empresas, quais sejam, o grupo Coalbrookdale (até por volta de 1780 dos Darby e depois dos Reynolds), Wilkinson, Carron (de início de propriedade de Roebuck, depois de um grupo de acionistas) e Cyfharta (Charles Wood e depois Cokshutt, Bacon e Cramshay, vindo depois este a tornar-se arrendatário de toda a metalúrgica) realizam investimentos, e a maioria das patentes são detidas por eles (no caso de Coalbrookdale, na verdade são os irmãos Cranage, a esta altura, empregados). A única possível exceção é Rotherham.

Darby em 1779; a primeira fabrica inteiramente de ferro, os Moinhos Albion, em 1784; barco fluvial de ferro, fabricado por Wilkinson em 1887. E, mais que tudo, a “fábrica de máquinas”. Como observa Mantoux com grande propriedade, “ao mesmo tempo que se anunciava o reinado do ferro, começava o reinado das máquinas. Teria sido possível um sem o outro?”¹ Por depoimentos históricos, parece ter ocorrido uma “febre de ferro”, e talvez se possa aventar a hipótese de investimento à frente da demanda, mas sem estes “especuladores aventureiros” com certeza não teríamos “esta” revolução industrial.

Cort, o inventor do processo de pudlagem, para transformação de gusa em maleável, foi inicialmente um agente naval (algo como um despachante alfandegário, com maiores responsabilidades) mas em 1772 assume uma fundição da família de sua mulher. Após receber uma grande encomenda da Marinha para petrechos de mastro, desenvolve um processo, assemelhado ao da laminação, para a produção de ferro em barras, no qual o ferro maleável era pressionado por cilindros estriados (*grooved cylinders*). Processo semelhante já havia sido patenteado mas havia dúvidas se realmente fora usado, e Cort obtém patente pelo mesmo em 1783. Suas vantagens são: a) auxilia no processo de escoriamiento, homogeneiza melhor o produto, e torna-o menos quebradiço; b) reduz em muito o tempo de produção de barras (uma fornada que era de no máximo 1 t. pelo processo anterior, pula para 15 t.), o que tem acentuado significado diante dos volumes de capital aplicados; c) padroniza e facilita a obtenção de diversos formas de produto final; d) é passível de mecanização.

A maior dificuldade com os processos anteriores ao de pudlagem era o contato do carvão (ou mesmo coque) com o ferro fundido. Cort põe separado o carvão, cujo calor é

¹ MANTOUX, op. cit., p. 297. No entender de Tylecote, “a moderna força hidráulica deve seu desenvolvimento ao engenheiro civil britânico John Smeaton, o primeiro a construir grandes rodas hidráulicas usando ferro fundido para sua construção.” (TYLECOTE, op. cit., p. 143).

reverberado pelas paredes de um forno reverberatório e, através de uma porta, cuja entrada de ar auxilia a evitar a contaminação do ferro pelas impurezas da chama, o trabalhador (o “puclador”) agitava o ferro fundido trazendo as impurezas à superfície e acelerando assim o processo de descarbonização. O ferro fundido formava uma espécie de poça (*puclle*). Esta massa, uma mistura de ferro e escória, era reaquecida em fornos de ar, a uma temperatura inferior ao ponto de fusão e então parcialmente consolidado em chapas sob a força do martelo. Estas chapas eram finalmente reaquecidas e introduzidas no rolo estriado para conformar as barras.¹

É o próprio Cort, quem previne para a necessidade de “muito trabalho para a retirada da escória.”² Mas, ainda mais importante, é que a qualidade do produto, já por si variável devido a diversidade das matérias primas e a incapacidade da tecnologia de então de lidar a contento com esta dificuldade, é extremamente dependente da experiência e da “sensibilidade” do trabalhador (em particular o “puclador”). Não é por outra razão que, quando no restante da Europa é introduzido o processo, ocorre uma imigração em grande escala de operários metalúrgicos ingleses. Outro ângulo desde o qual se pode observar a intensidade de mão de obra, bem como o desequilíbrio do processo global, é a quantidade de altos fornos necessários,

¹ O investimento necessário para o desenvolvimento dos processos, mas em particular a puclagem, parece ter sido elevado. Em 1781, Cort associa-se a Jellicoe, “tesoureiro” (*deputy paymaster*) da Marinha. Em 1789, este é acusado de desviar fundos públicos; Cort é envolvido no processo, pede falência e sua patente reverte em favor da Marinha. Era, ao que parece, habitual aos responsáveis por fundos públicos, deterem parte do caixa em contas pessoais. E assim Jellicoe também procedeu. Em carta de 1782, afirma estar preocupado com o montante de fundos com esta origem, que haviam sido aplicados em seu negócio com Cort e seu filho (de Jellicoe), que atingia uma “soma consideravelmente maior que £20 mil.” A Marinha responsabiliza Jellicoe e próximos, por um desvio de £36,5 mil. Mott afirma que £32 mil “certamente não excedia o valor aplicado no desenvolvimento dos processos”, no entanto não mostra como chegou a este (ou algum) valor. De qualquer forma, parece que os valores foram elevados e não puderam ser recuperados, pois poucos foram os contratos assinados por Cort, e que seus responsáveis efetivamente efetuaram o pagamento dos *royalties*. (MOTT, R. A. edited by SINGER, P. *Henry Cort: the great finer*. London: The Metals Society, 1983, p. 57-63 e 67).

² TYLECOTE, op. cit., p. 128.

muito inferior à dos fornos de tratamento final, os quais tinham uma intensidade de trabalho muito mais elevada. Um metalurgista sueco anota, em 1802, altos fornos: 3, fornos para tratamento da fundição: 3, 25 para pudlar e 8 para refino; na fábrica Ebbw Vall (não é datado), 8 altos fornos, 104 para pudlar e 60 para refino.¹

Existe uma polêmica, aliás mais uma, sobre a originalidade do processo de Cort, conhecido como pudlagem após a queda de sua patente. Isto porque, como vimos, o forno reverberatório já fora utilizado antes, na própria metalurgia, e, ainda que negado por seu biógrafo Mott, também o rolo estriado. A querela de a quem cabe a “genialidade” de inovar, não nos interessa aqui. O que vale comentar, da mesma forma que em outras inovações, é o “salto”: além dele introduzir novos elementos ao processo, que torna-se em conjunto um novo “sistema”, isto só é possível justamente pela multiplicidade de investimentos em busca de inovar. São os conhecimentos acumulados pelas tentativas anteriores, mais ou menos bem sucedidas, que permitem, como diz Usher, uma nova síntese.

A maioria dos autores afirma que estas inovações são rapidamente utilizadas pela indústria. O cilindro estriado, de fato, parece que tem rápida difusão. No entanto, Hyde, que fez um estudo mais detido, mostra que, se a partir de 1815 praticamente toda a produção de ferro em barra se faz pelo processo de pudlagem, das 28 plantas que o utilizavam após esta data apenas 5 o faziam antes de 1795 e 12 adotaram-na entre 1795-1805.² As razões levantadas por este autor para a incorporação “lenta” do processo de pudlagem são os problemas técnicos e a pequena vantagem inicial em termos de custo comparativamente ao processo de *potting*. Contudo, em sua argumentação, a preferência pela processo de Cort se dá devido ao diferencial

¹ DANILEVSKY, op. cit., p. 169.

² HYDE, op. cit., p. 201. Tylecote, e como veremos adiante, Clapham, são outros autores que afirmam ser lenta a difusão.

entre custos relativos, o qual se verificaria sobretudo por um aumento – não explicado – do custo do processo de *potting*. O processo de pudlagem, enquanto a patente é detida por Cort, é usado (talvez mais correto seria afirmar, é testado) nas instalações de Rotherham, em 1786, e por Cramshay (Cyfharta). Os Homfray montam uma metalúrgica em 1784, segundo o processo de *potting* (segundo patente de Cramshay), e testam o processo de rolos, mas posteriormente vêm a usar o processo de Cort. Segundo Mott, um metalurgista que escreveu um conceituado livro sobre a história da indústria, mas que nesse texto claramente porta-se como um defensor de Cort, após reconhecer que apenas ao fim da guerras napoleônicas é que é usado intensamente, afirma que “apenas em Glamorgan – aliás em Methyr Tydfil (a planta dos Homfray) - é que o processo de Cort foi plenamente desenvolvido durante a última década do século XVIII.”¹ As razões já apontadas para a tendência a uma difusão “lenta” das inovações na metalurgia, que parecem comprovadas pelas observações acima, e o crescimento da demanda e provavelmente da margem de lucro², provocadas pelo fim das guerras napoleônicas, explicam este comportamento.³

A dispersão geográfica e a pequena integração vertical que caracterizavam a indústria metalúrgica é completamente alterada ao longo do século XVIII, por força da natureza do progresso técnico. Segundo Forbes, a separação entre fornos, forjas e “fábrica” (*mill*), típica da indústria no início do século XVIII, é rompida com a máquina a vapor,

¹ MOTT, op. cit., p. 67.

² A inflação estimada no período 1790-1804, é de 40%. Na medida que, pelo menos os grandes produtores são proprietários das minas, é muito provável que tenha aumentado a margem de lucro.

³ Clapham afirma que apenas após às inovações incrementais efetuadas pelos Homfrays (cita apenas o acréscimo de um forno para preparação de coque, ao invés do uso de carvão mineral) é que o processo de pudlagem torna-se um sucesso e que seu uso seria tão restrito que era conhecido como o “método galês”. (CLAPHAM, J. H. *An economic history of modern Britain*. Cambridge: Cambridge University Press, 1959, v. 2, p. 149).

movimento que já se inicia com a bomba de Newcomen.¹ O processo de realocização a que a indústria fora obrigada por necessitar de maior quantidade de energia hidráulica, levando-a para longe dos mercados, se reverte. Mas igualmente importante é a independência da disponibilidade de energia hidráulica, que estava a apresentar problemas. Muitas plantas eram obrigadas a não operar parte do ano, por carência de energia; o uso da água tornou-se tão intenso que os direitos aumentaram e mesmo surgiram disputas entre proprietários e usuários.²

O progresso técnico na metalurgia agiu invariavelmente no sentido de exigir escalas cada vez maiores, e a capacidade média dos altos fornos é um bom indicador disso: 300 t. em 1720, 1500 t. em 1805 e 2.600 em 1826.³ A metalúrgica de Carron, fundada em 1760 com um capital inicial de £12 mil, tem este elevado para 150 mil em 1774; Darby, realizava vendas de mais de £80 mil, em 1776; a fundição de Rotherham em 1796 tinha um capital de £200 mil. Todos esses são montantes extremamente elevados. Para que isto fosse possível, vimos que, tanto pelas necessidades de uso de coque, aumento do tamanho dos fornos e qualidade do gusa, a máquina a vapor foi indispensável, como também o foi no uso de máquinas pesadas, como martelos, laminadores e máquinas de corte. É pois indissociável o progresso técnico da metalurgia e da máquina a vapor — e não apenas por uma inovação isolada, como é o caso do “cilindro soprador” movido a vapor, fabricado por Boulton e Watt para Wilkinson — como costumeiramente se afirma na literatura. O processo de pudragem veio completar o movimento

¹ FORBES, R. J. Power to 1850. In: SINGER, C. et al. (eds), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v. IV, p. 162. Hyde afirma que fornos e forja, historicamente separados por causa da oferta limitada de carvão de lenha e força hidráulica, foram reintegradas. (HYDE, op. cit., p. 200).

² Forbes afirma que estava ocorrendo uma tendência a separar a fundição do acabamento do metal, por limitação da disponibilidade de energia, o que teria sido alterado com o uso do máquina a vapor (FORBES, op. cit., p. 161). Contudo, o processo de pudragem tem de ser levado em conta.

³ BERG, M. *The age of manufactures and work in Britain*. 2. ed. London: Routledge, 1994, p. 46.

de concentração e aumento de escala, ao integrar fases do processo produtivo e, segundo Mokyr, matar a pequena forjaria independente no fornecimento de ferro maleável.¹

Após observar que até 1780 a produção inglesa era inferior à da França, Landes afirma que a esta altura se dá a viragem da produção de ferro.² Do início da década de 1780 até o fim das guerras napoleônicas, o crescimento da indústria metalúrgica é substancial e se, logo após o fim da guerra, a indústria entra em queda acentuada, como aliás em geral ocorre na Inglaterra, pouco depois volta a apresentar sustentado e elevado crescimento. Ainda que, de fato, o investimento em ferrovias tenha dado um grande impulso à produção, é pois incorreto afirmar, por exemplo, como Hobsbawm, que se localize na ferrovia a demarcação capitalista da metalurgia.

¹ MOKYR, J. *The lever of the riches*, Oxford: Oxford University Press, 1990, p. 93

² LANDES, op. cit., p. 95. Os valores por ele apresentados, como também por Deane e Cole, discrepam ligeiramente dos mostrados na tabela calculada a partir de Riden. Todavia, as taxas de crescimento para os longos períodos (de meados do século XVIII até 1780, daí até o fim das guerras napoleônicas, e desta época até ao ciclo ferroviário de 1847-49) são muito próximas.

GRÃ-GRETANHA: PRODUÇÃO DE FERRO-GUSA, 1745/1854
(Produção: média anual em 1.000 t.)

	Produção	Taxa de Crescimento		Produção	Taxa de Crescimento
1745/9	27		1800/4	214	8,5
1750/4	28	0,7	1805/9	292	6,4
1755/9	31	2,1	1810/4	378	5,3
1760/4	34	1,9	1815/9	286	-5,4
1765/9	40	3,3	1820/4	414	7,7
1770/4	40	0,0	1825/9	636	9,0
1775/9	48	3,7	1830/4	696	1,8
1780/4	62	5,3	1835/9	1060	8,8
1785/9	80	5,2	1840/4	1318	4,5
1790/4	102	5,0	1845/9	2046	9,2
1795/9	142	6,8	1850/54	2684	5,6

FONTE: Elaborado calculando médias anuais por quinquênio a partir de, RIDEN, P. The output of the British iron industry before 1870. *Economic History Review*, 30(3), 1977, p. 455.

NOTA: Taxas anuais de crescimento calculadas a partir destes valores.

O fascínio dos franceses pela tecnologia inglesa e a clara percepção das vantagens dela advindas são bem ilustradas por depoimentos de personagens da época. O oficial (brigadier) M. de la Houlière, que em 1773 havia feito experimentos com moderado sucesso na fundição de ferro na França, dois anos depois, em viagem de observação dos métodos ingleses, afirma após visita à uma metalúrgica, em seu relatório ao governo francês, que havia explodido o progresso na fabricação de canhões na Inglaterra nos últimos 20 anos, “enquanto na marinha francesa acidentes eram tão comuns que os marinheiros temiam mais as armas as quais estavam servindo, que as do inimigo.”¹ Já La Rochefoucault-Liancourt acentua, no fim do século, que o que fazia falta à França era justamente uma indústria metalúrgica que a permitisse competir internacionalmente, afirmando que “tenho admirado aqui (na fiação de algodão em Paisley),

¹ SCHUBERT, op. cit., p. 101/2. Segundo Tylecote, a qualidade dos canhões ingleses da metade do século XVIII deve-se à refundição em fornos reverberatórios, que permitia a escória flutuar, especialmente à medida que a

como em todas as grandes manufaturas que tive ocasião de ver na Inglaterra, sua habilidade para trabalhar o ferro, e a extrema utilidade que isto resulta para o movimento, a duração e a precisão das máquinas... É certamente a primeira das artes o trabalho em ferro, e esta é a que nos faz falta essencialmente. É o único meio de multiplicar nossas manufaturas e de nos pormos à altura dos ingleses na competição, pois é impossível pretender esta competição se continuamos lutando com nossas fiações contra essas máquinas, por exemplo, e contra máquinas de ferro com máquinas de madeira. ¹

Na década de 1830 volta-se a observar uma onda de inovações. A mais importante delas, principalmente tendo em vista a direção do desenvolvimento da tecnologia de produção de ferro ou aço, foi a injeção de ar quente, por permitir aumentos sucessivos da temperatura do alto forno e ampliar a variedade de matérias primas que podiam ser utilizadas. Quem a patenteia é um gerente da empresa de gás de Glasgow, em 1828, Neilson. Já na primeira experiência, no ano seguinte, na qual consegue uma temperatura de apenas 27°C, há “melhoria da qualidade do ferro e maior fluidez da escória” e uma economia de combustível de 31%.² Várias melhorias, que aumentam a eficiência térmica e que permitem elevar a temperatura, são introduzidas pelo próprio Neilson, em instalações pelas quais é responsável, mas também por usuários. Já no início da década de 30 a eficiência do uso de combustível é triplicada relativamente ao processo sem uso de injeção de ar quente, e consegue-se uma temperatura de 315°C, tornando possível o uso de carvão em substituição ao coque.

limitação dos altos fornos não mais se aplicava e altas temperaturas eram disponíveis (TYLECOTE, op. cit., p. 139)

¹ La Rochefoucault-Liancourt, F. y A., Voyage aux montagnes, carta de 9 de maio de 1796, citado em Mantoux, op. cit., p. 298, nota 2.

² TYLECOTE, op. cit., p. 135, e DANILEVSKY, op. cit., p. 167, relativamente à economia de combustível.

Além da redução do consumo de combustível, do tempo de processamento e do aumento do tamanho do alto forno, as inovações incrementais permitiram diversificar sobretudo a qualidade das matérias primas usadas. Carvão não lavado, depois antracito, e, um tipo de minério de ferro, carbonatado (praticamente uma mistura de ferro e carvão), comum na Escócia, vêm a ser usados. Esta é uma direção fundamental do progresso técnico na metalurgia, que se acentua a partir de então com a crescente elevação de temperatura e pressão: aumento e diversificação da base de recursos disponíveis, permitindo não apenas o uso de minérios anteriormente considerados impróprios, mas também o uso de sucata em quantidades bem maiores, o que mais uma vez amplia a base social de recursos disponíveis e permite maior flexibilidade à indústria, inclusive em termos geográficos.

O acompanhamento das inovações incrementais e da difusão, como em vários outros casos, é precário. Os autores que tendem a esposar uma visão da inevitabilidade do progresso técnico falam em rápida difusão. Já Landes afirma que a injeção de ar quente restringiu-se durante um bom tempo à Escócia, cuja produção cresceu durante certo tempo a taxas bem maiores que as do País de Gales, justamente por ter sido possível o uso de minerais mais pobres ou com conteúdo de elementos em taxas antes impróprias.¹ E Clapham levanta que isto se dá por ser a economia de combustível muito menor em Gales e na Inglaterra, dados os tipos de carvão aí existentes.² Tylecote afirma que existiam diversos problemas, só resolvidos definitivamente com a invenção da estufa regeneradora de tipo refratário, na segunda metade

¹ LANDES, op. cit., p. 93, que fala em décadas quando avalia o curso da difusão. Também nos EUA é reconhecida a importância da injeção de ar quente para o deslocamento geográfico da indústria americana, ao permitir o uso de antracito.

² CLAPHAM, op. cit., p. 427. Este parece-me um argumento altamente discutível. Ainda que na Escócia a importância seja bem mais acentuada, por permitir o uso de matérias primas em que a região era rica, é de esperar substancial elevação do rendimento de combustível, mesmo com carvão de melhor qualidade.

do século, mas de fato o único problema que aponta é que, devido à expansão diferenciada entre o ferro das tubulações e o material refratário do revestimento, era comum o rompimento das tubulações. “No entanto, as vantagens compensavam largamente os custos quando o ferro com alto conteúdo de sílica era necessário ou aceitável.”¹

Outras inovações, todas ocorridas na década de 30, são devidas a alterações de *design*. Uma delas, de 1832, em uso no País de Gales, além de acelerar o processo e reduzir o consumo de combustível, leva mais uma vez ao aumento dos altos fornos; enquanto anteriormente, a altura média era de 35 a 40 pés, agora passa para 50 a 60.² A quantidade de entradas de ar, que havia passado anteriormente de uma para duas com a substituição dos foles pelos “cilindros sopradores”, eleva-se à esta época para quatro com alterações da forma dos fornos, o que permite aumentar a pressão e portanto, a temperatura.

Na produção de ferro maleável havia um problema técnico que consistia no fato de a areia usada como cama poder levar a uma combinação da sílica, nela contida, com o ferro oxidado, impedindo a redução do fósforo aos níveis de qualidade desejáveis para muitos usos, bem como no da corrosão da cama, obrigando a substituí-la. De 1816 a 1818, Rogers, um industrial da metalurgia, testa o uso de óxido de ferro em substituição à areia. Não há claros indícios de que esta inovação tenha sido adotada, tendo mesmo seu idealizador sido ridicularizado. Somente a partir de 1839 é que comprovadamente a idéia passa a ser usada, com o processo que ficou conhecido como pudlagem úmida (*wet puddling*), patententeada por Hall no ano anterior.³ As vantagens deste processo são que a transformação passa a se dar em uma

¹ TYLECOTE, op. cit., p. 136. Segundo Hyde, a redução de custo foi de 1/2, rebatendo em queda de preço.

² SCHUBERT, op. cit., p. 113.

³ Em sua forma final, isto é, após passar por aperfeiçoamentos, o processo consistia na calcinação de cinzas e escória em fornos, cujo material, depois de resfriado, era quebrado em pequenas partes e postas na cama. O

só fase e, ainda que não tenhamos encontrado na literatura nenhuma referência, provavelmente reduz-se a dependência à mão de obra, já que no processo anterior, cada bola de ferro fundido precisava ser tratada individualmente.

As interações dinâmicas da metalurgia com outras atividades são realçadas por diversos autores. Por exemplo, para Ferguson, a máquina a vapor permite o aumento da oferta de ferro devido ao crescimento da oferta de energia; a intensificação do uso da máquina a vapor leva à elevação da demanda de ferro; novas tecnologias na metalurgia promovem maior oferta de ferro a menores custos que permite novas máquinas-ferramenta, fechando o círculo e conduzindo ao aumento da demanda de ferro.¹ Já em Landes, o aumento da produção de carvão provoca a necessidade de máquina para extrair água; o crescimento da produção de carvão a custos cadentes incentiva a produção de ferro; as inovações na têxtil também provocam aumento da demanda de energia, logo rebatendo sobre a demanda de carvão e a máquina a vapor; máquinas em geral, e em particular a máquina a vapor, necessitam de ferro, portanto, de mais carvão.

A despeito da inegável importância destas interação no desenvolvimento do capitalismo neste período, é também preciso assinalar que o desenvolvimento da metalurgia não depende de nenhuma atividade em particular, muito menos da têxtil, mas de um conjunto, sendo isoladamente a guerra e a urbanização as mais significativas. E que a maquinização depende deste desenvolvimento da metalurgia. Vimos que, mesmo antes de um crescimento

oxigênio do óxido de ferro contido neste material - adições de óxido de ferro também podiam ser feitas - combinava com o carbono da carga e produzia monóxido de carbono.

¹ FERGUSON, E. S. Metallurgical and machine-tools developments, in KRANZEBERG, M. e PURSELL, C. W. (eds), *Technology in western civilization*. Oxford: Oxford University Press, 1967, v. 1, citado em CARLSSON, B. The development and use of machine tools in historical perspective, *Journal of Economic Behavior and Organization*, 5(1), mar, 1984, p. 93

firme da demanda, há uma concentração de investimentos em inovação. A exportação, ao contrário do que defende Hobsbawm, não “puxa” a metalurgia, já que sua participação no valor bruto da produção, situa-se até meados do século XIX entre 20 a 30%.¹ E a maturidade da metalurgia, de forma alguma deve ser datada da “febre” ferroviária. Não só as taxas de crescimento anteriores são substanciais como, à exceção do processamento contínuo para a produção de aço, as condições técnicas estão basicamente estabelecidas no fim da década de 1830. Há desenvolvimentos paralelos, em várias atividades, não estritamente interdependentes, que vêm confluir no final do século XVIII. Sem qualquer um deles, o movimento se estancaria.

II

Se o departamento de bens de produção constitui o cerne do capitalismo, o setor de bens de capital é seu “núcleo duro”. Os bens de capital, direta ou indiretamente, são “portadores” das inovações ainda que, em alguns casos, como vimos na metalurgia, tenham caráter subsidiário. Isto se deve a existência de intensos laços internos à própria indústria, que faz com que sua dinâmica seja auto-alimentada; ao fato de que, afinal, só com uma indústria produtora de máquinas pode o capitalismo atingir a maturidade.

À indústria do algodão cabe a liderança de parte do período sem, contudo, ser capaz de arrastar o departamento de bens de produção. A constituição deste faz-se por estímulos provenientes de várias atividades, de forma não sincronizada. Apenas para ficarmos em um exemplo marcante, não seria possível a existência de uma indústria de máquinas têxteis caso

¹ DEANE e COLE, op. cit., p. 225. No período 1805-18 há um crescimento desta participação, de 24% para 30%, no entanto com uma enorme queda dos preços, que caem mais que 50%. Já depois de 1850, o *boom* ferroviário que se verifica mundialmente, beneficia enormemente a indústria metalúrgica britânica, que exporta grandes quantidades de ferro maleável para o mundo inteiro, inclusive os EUA.

não houvesse ocorrido inovações na indústria metalúrgica as quais, em grande medida, se deram independentemente da têxtil.

A indústria de máquina-ferramenta, entendida não no sentido restrito de máquinas para corte de metal, mas aquela na qual se opere uma mudança da forma física, não apenas dos metais, mas também da madeira,¹ passa por um primeiro período de inovações devido à produção de relógios e instrumentos científicos e, secundariamente, aos trabalhos sobre a madeira. Vários instrumentos são aperfeiçoados ou introduzidos a partir das necessidades da produção de relógios em maior escala e com maior precisão. O torno, em particular, sobretudo na França na década de 1740, atinge com Thiout uma concepção muito próxima à que virá a ter o torno mecânico. Todavia, eram instrumentos feitos basicamente de madeira², para operar sobre pequenas peças de metais e ligas “brandas”, como cobre e latão. É, pois, incorreto pensar-se num desenvolvimento “linear” destes instrumentos até o torno mecânico, já que problemas totalmente novos se apresentam.

A primeira máquina-ferramenta que marca o “novo período” é o torno, concebido por Maudslay ainda quando empregado de Bramah, um dos empresários com maiores variedade e quantidade de inovações. Em 1784, Bramah inventa uma fechadura para ser produzida em grande quantidade e a baixo preço, o que implicava partes com uma certa precisão. A produção sob estas condições exigia ser feita com auxílio de máquina então inexistente. Maudslay, que havia sido inicialmente contratado por sua grande habilidade no

¹ Não analisaremos, pois, os bens de capital para indústrias de processo: alimentos, bebidas, papel e vidro, que também experimentaram no período acentuada incorporação de progresso técnico, inclusive através de novos equipamentos.

² Partes às vezes eram de metal, o que apresentava o problema da coexistência de materiais com propriedades tão distintas. As restrições da madeira para a fabricação de máquinas, são: variações devidas até mesmo a mudança nas condições atmosféricas, desgaste e movimento desigual das partes e rápida deterioração de certas partes.

uso de ferramentas, mas que já se elevava a cargo equivalente a gerente, é, ao que tudo indica, o grande responsável pelo desenvolvimento desta máquina, o torno mecânico. Começa ela a ser usada em 1794, mas precisa passar por melhorias para, em 1797, apresentar desempenho satisfatório.

Alguns autores, justamente aqueles que entendem ser o progresso técnico do período “fácil” e inevitável, uma resposta imediata à “demanda”, desvalorizam a inovação de Maudslay, já que os mecanismos já existiam. Mesmo o porta-ferramentas, que costuma ser considerado seu grande invento, não só era usado em tornos na fabricação de relógios como conhece-se dele ilustração de 1480¹. O mandril de madeira, com todas as limitação que impunha, e os obstáculos à sua fabricação em metal, acabaram por restringir o uso do porta-ferramenta. O que marca o torno de Maudslay é uma percepção global de uma linha de solução, mesmo que contrariando as práticas correntes, exigindo um torno totalmente metálico, o que é enfatizado por Usher. Ou ainda, nas oportunas palavras deste: “...todos os elementos do novo já eram conhecidos, mas o meio e a síntese, novos.”²

Pouco depois, Maudslay desliga-se de Bramah e monta sua própria firma. Os procedimentos de Maudslay para aperfeiçoar o torno ilustram de forma eloqüente a “circularidade” dos bens de capital.³ O maior problema, à época, nos trabalhos com metal, sobretudo na produção de máquinas, é obter superfícies planas, as quais são por isto evitadas ao

¹ Cf. GILBERT, K. R. *Machine-Tools*, in Singer et alii (ed.), op. cit., p. 425, que no entanto lembra que Nasmyth, outro importante e inovador fabricante de máquina-ferramenta, sobre quem voltamos a falar, em livro de 1841 atribui o porta-ferramenta a Maudslay. Portanto, aparentemente, a concepção antiga do porta-ferramenta não era conhecida.

² USHER, op. cit., p. 311. Marx reconhece que a mecanização da máquina-ferramenta “exige muitas vezes, grandes modificações técnicas no mecanismo construído primitivamente para a força humana.” (MARX, op. cit., p. 62)

³ A principal fonte, é USHER, op. cit., p. 313.

máximo pelos fabricantes, pois impõem padrões de precisão dificilmente ou custosamente alcançáveis com instrumentos manuais. Ademais, fazia-se necessário aumentar a distância entre os pontos de fixação, de modo a poder tornear peças de maiores dimensões, para o que era preciso um eixo longo e de diâmetro apropriado. Maudslay fabrica vários tornos com o maior apuro possível a ferramentas manuais, e seleciona os melhores de forma a que justamente possa produzir partes planas, por meio de máquinas, com maior precisão. Foi necessário construir também um instrumento para correção de erros e desenvolver um micrômetro com precisão de milésimo, de modo a poder examinar os tornos. Para fabricar máquina de qualidade é preciso máquinas de qualidade, e para tanto, faz-se mister o desenvolvimento de outros mecanismos. Gilbert lembra que outro elemento essencial à construção de uma máquina-ferramenta é o parafuso, já que é ele que transforma o movimento rotativo em linear. Daí conclui que as características marcantes da produção e desenvolvimento de tornos por Maudslay foram: produção de superfícies planas precisas, uso do porta-ferramenta, construção integralmente em ferro e a produção de parafusos precisos.¹ As condições impostas são, pois, várias e rigorosas.

O torno de rosquear, também desenvolvido por Maudslay, mostra um aspecto da complexidade do progresso técnico normalmente não levado em conta pelos analistas mais afoitos. A solução a que chega, uma combinação de rodas dentadas que permitia ao trabalhador produzir parafusos de qualquer dimensão sem ter de trocar o eixo, segundo Usher já estava bem explicitada em idéias de Da Vinci e, implicitamente, em um torno de Benson.² Entretanto, os problemas de fabricação de um eixo com a necessária precisão desviara a atenção para outras

¹ GILBERT, *op. cit.*, p. 424.

² Cf. USHER, *op. cit.*, p. 312.

soluções. Vale dizer, por várias razões possíveis, e muitas vezes, como aqui, ante um obstáculo, a tecnologia toma certa direção. Em certo momento, não predeterminado, mas relacionado aos avanços técnicos na área ou em outras áreas (o que naturalmente aumenta sua complexidade), a busca muda de direção e novas soluções podem ser encontradas.

No capítulo anterior expusemos as relações entre os empreendimentos de Wilkinson e de Boulton e Watt, mas convém acrescentar certas observações. Watt, antes de dispor da tecnologia de Wilkinson, foi obrigado a preencher os interstícios entre o cilindro e o pistão com papel, óleo, etc. Naturalmente, isto reduzia muito a eficiência da máquina. Em encomendas oficias de canhões, Wilkinson melhorara a tecnologia de broquear. Ao ser contactado por Boulton e Watt, introduz mudanças nesta tecnologia que o capacita a aumentar mais a precisão e a atender às necessidades destes. Wilkinson, que já aperfeiçoara a tecnologia de injeção de ar por meio de cilindros, em associação com a firma de Boulton e Watt introduz o uso da máquina a vapor nos equipamentos de injeção, o que vem a tornar-se padrão na indústria. Assim, a estreita interdependência existente entre atividades do departamento de bens de produção é econômica e técnica. Se o progresso técnico na metalurgia permite a existência de uma indústria de máquinas, ao aumentar a flexibilidade do trabalho com ferro e reduzir enormemente o preço do ferro maleável o primeiro grande usuário de máquinas é a própria metalurgia.

O torno de Maudslay é aperfeiçoado por Roberts em 1817, e por Whitworth em 1839.¹ Há dúvidas com relação à plaina mecânica, máquina da maior importância dada a necessidade de superfícies planas cada vez maiores. Também Roberts dispõe de máquina deste

¹ Vale frisar que Whitworth, de forma equivalente ao que se mostrara necessário para Maudslay, desenvolve uma máquina capaz de comparar padrões, com uma precisão de milionésimo, bem como outra para determinar o ponto exato de ataque.

tipo, ao que parece em 1817 (feita à mão), mas a mais conhecida é obra de Clement em 1825, inicialmente movida manualmente. Whithworth, no período 1835-42, obtém várias patentes para máquina movida a vapor e automática. Em 1829, ao que parece pelas mãos de Nasmyth, quando ainda trabalhava com Maudslay, é desenvolvida uma fresadora. A máquina de estampar é concebida em 1836 por Nasmyth, e posteriormente é aperfeiçoada por Whithworth introduzindo um eixo de manivelas. Em 1839 Nasmyth desenvolve o martelo a vapor, que se fez necessário para a construção do que foi o maior navio a vapor existente durante largo período, com o qual foi permitido não só forjar barras e chapas de ferro até então impossíveis, como ter uma regulação da força do impacto e do tamanho da peça. A única máquina, segundo a literatura, desenvolvida especificamente por necessidades da ferrovia, mas que não deve ser posta em pé de igualdade com as anteriores, pois extremamente especializada, é para fazer furos a espaços regulares (*punching hole*), também obra de Roberts, em 1847. Pode-se pois concluir, em concordância com Usher e outros historiadores da tecnologia, que "...por volta de 1840 este grupo de máquinas-ferramenta havia adquirido uma forma estável."¹

O outro grupo importante de máquinas-ferramenta, que aliás veio a tornar-se mais destacado que o anterior, é aquele voltado para a produção em série, é, ou, como é mais conhecido na literatura sobre o período, produção de partes intercambiáveis. A experiência mais antiga, de enorme precocidade, se dá na Suécia, por Polhem, em 1700,² que monta uma

¹ USHER, op. cit., p. 313.

² Diz este textualmente, segundo Usher: "podem conseguir-se proveitos em todas as coisas economizando mão de obra, mas especialmente nas instalações industriais, de maneira que os produtos não sejam tão caros, pois nada contribui tanto para aumentar a demanda que preços baixos; por conseguinte, temos grande necessidade de máquinas e acessórios, que de uma ou outra maneira, nos permitam diminuir a quantidade ou a intensidade do trabalho manual executado. A melhor maneira de chegar a este resultado é mediante a substituição de mão de obra por força hidráulica, e com isto consegue-se economias de 100 e até 1.000%". Citado em USHER, op. cit., p. 317. A fonte das experiências de máquinas-ferramenta concebidas para a produção de partes intercambiáveis relatadas a seguir também é Usher.

fábrica seguindo os princípios da máxima divisão do trabalho com auxílio de máquinas, para o que desenvolve inúmeras, sendo que máquinas de corte e laminadoras tornaram-se de uso generalizado.

As experiências seguintes são de produção de armas ou petrechos para fins militares. A primeira se dá na França, pouco antes de 1785, para a produção de mosquetes. Apesar do projeto ser aprovado pelo governo, e ter levantado o interesse de Jefferson, que aconselhou o governo americano a levar para os EUA Le Blanc, seu idealizador, termina por fracassar.¹ A segunda tentativa ocorre na Inglaterra. Bentham (irmão do filósofo e economista) obtém patentes para uma grande variedade de máquinas a serem instaladas em oficina da Real Marinha de Guerra, a qual viria sofrer uma profunda transformação do processo de produção de quadernais (peças de navio onde gira uma roldana). Posteriormente, Brunel, um ex-oficial da marinha francesa que, tendo apoiado a realeza, emigra para a Inglaterra, apresenta projeto semelhante, considerado superior ao de Bentham. Maudslay, em uma das de suas primeiras grandes encomendas, é encarregado do fabrico das máquinas e parece cumprir papel na versão final das 44 máquinas, a maioria para trabalhar madeira. Informações relativas a este empreendimento merecem ser citados, pois trata-se de um marco. Iniciada a construção em 1801, entra em operação normal em 1808 com uma produção em torno de 130 mil quadernais, com um valor da produção superior a £250 mil. Para um gasto de capital estimado em £45 mil, o Almirantado teve uma economia de £17 mil anuais.² A experiência é repassada para os

¹ Jefferson, o futuro presidente, a esta altura embaixador na França, assim relata a visita que fez à referida manufatura: "apresentou-me as partes componentes de cinquenta chaves desarmadas e classificadas em compartimentos; montei eu mesmo uma quantas chaves tomando as peças ao acaso em cada compartimento, tal como me vinham à mão, e se ajustavam perfeitamente umas às outras." Este afinal é o conceito de então, de partes intercambiáveis.

² As estimativas foram realizadas pela própria marinha inglesa, e são razoavelmente confiáveis, já que o pagamento de Brunel foi equivalente a 1 ano de economia. Cf. GILBERT, op. cit., p. 426/7. A economia realizada

demais arsenais da marinha inglesa; entretanto, não se conhece durante muito tempo nenhum outro caso de uso da concepção de produção em série.¹ Há ainda uma experiência na Alemanha cerca de 1806, mas não se dispõe de informações precisas.

Nos EUA, Whitney, o mesmo da *cotton gin*, em 1798 assim se dirige ao Secretário do Tesouro americano solicitando apoio oficial: “desejaria empreender a manufatura de 10 a 15 mil armas. Estou convencido de que maquinaria movida a água, adaptada a esta indústria, diminuiria a mão de obra e facilitaria muito a manufatura deste artigo. Máquinas para forjar, laminar, furar, amolar, polir, etc., todas podem ser usadas com grandes vantagens.”² Mais ou menos à mesma época, North também monta fábrica de pistolas em semelhantes moldes, fornecendo ao governo americano. Dentre os fabricantes posteriores, o mais conhecido é Colt. Não devemos, contudo, nos deixar levar pelos “casos famosos”, pois o desenvolvimento da indústria deve-se à aplicação de muitos capitais e à atuação do governo americano tentando buscar soluções para a nova tecnologia.

As primeiras fresadoras, máquinas nas quais a ferramenta de corte tem um movimento rotativo, são feitas para as fábricas de arma de Whitney e de North por volta de 1820,³ mas seu desenvolvimento, segundo Rosenberg, se deveu em grande parte ao trabalho

equivalente a uma taxa de retorno de nada menos de 37% ao ano. Outra informação valiosa, é que o trabalho antes executado por 110 trabalhadores, passa necessitar de apenas 10.

¹ A única exceção é a citada fábrica de Nasmyth.

² Citado em USHER, p. 323. Exatamente como Le Blanc, Whitney, ao receber visita oficial do Secretário do Tesouro, já com a fábrica em operação, por volta de 1800, desafia-o a montar mosquetes com peças escolhidas ao acaso.

³ É digno de nota que, como costumava se dar nos EUA, em contraste com várias máquinas inglesas, ela é desde o início concebida para ser acionada mecanicamente.

dos arsenais estatais.¹ Também o torno-revólver, uma das máquinas-ferramenta mais importantes, foi concebida para a produção de armas, devido a um contrato governamental. A história da empresa Browne and Sharp, que produz a primeira fresadora universal, ilustra alguns pontos recorrentes. Esta empresa, fundada em 1833, inicia-se na produção e manutenção de relógios e instrumentos científicos. Em 1850 introduz alguns instrumentos de medição e uma máquina de corte de precisão. Em 1858 começa a produzir máquina de costura, para a qual desenvolve um torno de rosquear que vem a ser usado em várias atividades, e uma máquina cilíndrica de polimento, que também é vendida a outras empresas e que vem a receber vários aperfeiçoamentos. No início da Guerra Civil ela é procurada por outra empresa, produtora de máquinas-ferramenta e de armas, que lhe apresenta um problema de produção de um componente do mosquete, o qual a própria Browne and Sharp enfrentava na fabricação de máquina de costura. Em 1862 produzem a primeira fresadora universal, que é vendida para a referida empresa. O que quero assinalar é a possibilidade de uma empresa inovadora transitar por várias atividades, criando ou aperfeiçoando produtos, como que deslocando sua competência técnica, e também que a origem do estímulo inovador pode provir de várias fontes, superpostas ou não. Apenas desta forma é possível a manutenção do “impulso” à inovação.

A importância da fresadora universal é sua versatilidade, que permitirá substituir a plaina, a aparelhadora e o torno com as vantagens de possibilitar o uso de várias ferramentas a maiores velocidades e cortes especiais que podem ser efetuados em uma só operação. Mas, para tanto, era necessário que o volume de produção compensasse fazer ferramentas específicas, além de que se apresentava o problema nada banal de conseguir fazer uma

¹ ROSENBERG, N. Technological change in the machine tool industry, 1840-1910, *Journal of Economic History*, dec 1963, p. 414-43, que é a fonte da maioria das informações que se seguem.

ferramenta que mantivesse o corte e, à medida que a velocidade aumentava, enfrentar o problema de seu aquecimento.¹

As questões apresentadas pela produção de partes intercambiáveis não são apenas um problema de somenos, devido a maior precisão. Trata-se de uma concepção totalmente distinta, e não é por acaso que alguns de seus praticantes iniciais, como que a querer demonstrar a extravagância da idéia, desafiam pessoas inexperientes a montar armas pegando peças ao acaso. Há necessidades, novas, de elementos ou operações de fixação, calibragem, padronização, corte ou modelagem com auxílio de gabarito, forjamento com matrizes, roscas², novos materiais, novas máquinas, e linha de produção. Esta variedade de necessidades não pode ser resolvida senão ao longo de um processo de aprendizagem relativamente longo, para o que é necessário uma seqüência de estímulos, o que explica por que as experiências européias não vão adiante, ao contrário do que ocorre nos EUA. Não concordamos, pois, com Usher, o qual, mesmo reconhecendo que dificuldades de desenvolvimento em várias áreas (forjamento, estamparia com matrizes e torneamento com padrões) tenham levado o sistema de produção de partes intercambiáveis a grande demora em seu aperfeiçoamento, considera que "... os problemas mais fundamentais já haviam sido resolvidos em torno de 1830-35."³

¹ Posteriormente, a origem do problema, digamos, se inverte. A introdução, por Taylor, de uma liga de aço de alta velocidade, isto é, que mantinha a dureza em altas velocidades, levou à necessidade de redesenhar a máquina-ferramenta, já que a velocidade que a ferramenta de corte permitia não era compatível com o restante da máquina. Cf. ROSENBERG, op. cit., p. 441. O problema do aquecimento vem a ser resolvido com o uso de óleo, portanto dependente do progresso técnico em outra área.

² ROSENBERG, op. cit., p. 428.

³ USHER, op. cit., p. 324.

Exporemos, a seguir, a concepção de Rosenberg do desenvolvimento da indústria de máquina-ferramenta nos EUA, pois contém elementos indispensáveis à compreensão do processo de maturação desta indústria.¹

Necessidades de produção de um setor levam à introdução de novas máquinas, normalmente por empresas fabricantes do bem final. À medida que se difunde seu uso, começam a surgir empresas especializadas, muitas delas egressas da produção do bem final. O problema resolvido por certas máquinas é, entretanto, comum a outras indústrias, e as empresas produtoras de máquinas-ferramenta impulsionam seu uso por estas atividades, o que leva ao aumento do tamanho das empresas de máquina-ferramenta bem como ao crescimento da quantidade de empresas e à intensificação da especialização. A elevada especialização promove uma aprendizagem efetiva e a aplicação prática daquilo que foi aprendido. Desta forma os conhecimentos adquiridos para a atividade específica, que impulsionaram de início a geração de soluções, vão sendo postos em uso para outras atividades, isto é, vai se generalizando um padrão. Daí que a indústria de máquina-ferramenta funcione como fornecedora de economias externas a outras indústrias.

A indústria de máquina-ferramenta, que no século passado foi o centro transmissor de progresso técnico, passa por uma seqüência histórica de estágios, uns entrelando-se aos outros. A indústria têxtil dá o primeiro impulso ao desenvolvimento da indústria de máquina-ferramenta, a qual se consolida com a ferrovia. Um outro tipo de máquina-ferramenta, de maior precisão e mais leve, é estimulada pela indústria de armas, base da qual parte a indústria de máquinas de costura, na década de 1860, com a qual é promovida nova onda de máquinas-ferramenta; esta, por seu turno, permite o desenvolvimento da indústria de bicicletas, em fins

¹ ROSENBERG, op. cit. Máquina-ferramenta é aqui entendida em sentido estrito, isto é, de máquinas que operam o corte de metais.

da década de 1880, a qual cria novos problemas e promove o aparecimento de novas máquinas e melhoria em algumas. Finalmente, surge a indústria automobilística, que depende destes desenvolvimentos anteriores e por si deslança novo processo de desenvolvimento da indústria de máquina-ferramenta. A análise histórica de Rosenberg constata, nos EUA, uma especialização a partir de 1840, que depende tanto do crescimento do mercado quanto da acumulação de habilidades e conhecimentos técnicos. Outro exemplo histórico, útil para ilustrar como os conhecimentos, e talvez se possa dizer, a capacidade inovadora, podem ser transpostos de um atividade para outra, é o da conhecida empresa Baldwin. Sua origem se dá na indústria de algodão, vindo depois a tornar-se fabricante de equipamento têxtil, para, finalmente, ser conhecida por suas locomotivas.¹

A indústria americana de máquina-ferramenta mostra, pois, um padrão diverso do inglês, já que tem sua dinâmica mais relacionada à produção em massa de bens de consumo, para os quais tornava-se necessária a aplicação intensiva do conceito de partes intercambiáveis.² Este pioneirismo americano, que põe alguns observadores ingleses admirados já na virada do século, e que logo torna-se liderança, reconhecida mesmo por Nasmyth, não deve ser esquecido, também se deve ao Estado, que atuou tanto como

¹ Rosenberg acentua a existência de uma "convergência tecnológica", isto é, de um conjunto de problemas a ser enfrentado, que exige certas habilidades e conhecimentos técnicos comuns, capazes de serem usados por várias atividades. O ritmo de industrialização, no seu entender, foi em grande medida determinado pela velocidade com que difundiu-se este conhecimento técnico de seu ponto de origem até seu uso (aplicações práticas), portanto um processo de aprendizagem. Apesar de concordar que este conceito sintetize certas idéias centrais ao progresso técnico, parece-me extremamente amplo como fator explicativo central para o desenvolvimento da indústria, em razão da grande variedade de problemas e das necessidades por eles postas.

² Rosenberg de forma alguma menospreza as interrelações dinâmicas internas à indústria de bens de capital, mesmo porque constata que justamente a fresadora universal, uma das mais importantes máquina-ferramenta, tem na própria indústria seu maior usuário. Estamos é a apontar que há um contraste com a história da indústria inglesa.

produtor de armas e comprador de máquinas, como comprador de armas de empresas privadas, e mesmo no desenvolvimento de máquinas.

Rosenberg acentua a formação de empresas *altamente* especializadas na geração e generalização do uso de conhecimentos técnicos. Parece-me, entretanto, que, independente do nível de especialização, a questão central no período reside na própria constituição da indústria. Já mencionamos a aceleração da inovação e difusão com a queda da patente de Watt – o mesmo se dá com Arkwright. Enquanto sua patente vige, mesmo que questionada e havendo uma pequena produção independente, a indústria de máquinas têxteis encontra-se limitada. Uma vez derrogada, é impulsionada a produção interna de fabricantes têxteis e constituem-se mesmo empresas fabricantes de máquinas. Enquanto a concepção e produção de máquinas confunde-se com a empresa produtora das mercadorias que são fabricadas com seu auxílio, a tendência é um entrave a seu desenvolvimento, não apenas por não convir ao fabricante repassar as vantagens a concorrentes, como pode ser tolhido o aperfeiçoamento das máquinas. Enquanto a empresa produtora de máquina precisa melhorá-las e tem contacto com uma variedade muito maior de experiências e necessidades, promovendo uma integração mais íntima entre tecnologia e seu uso, a fabricação interna permanece em um circuito fechado.

A concorrência é acirrada pela indústria de máquinas, e aqui Rosenberg pode estar correto ao acentuar a especialização, caso promova a concorrência, levando inclusive à queda de preço. Pode-se imaginar um efeito acelerador, já que a redução do custo do investimento não só o estimula e, importante neste período, leva à intensificação do uso de máquinas, como conduz à incorporação de outras inovações,

seja por razões econômicas, seja por razões técnicas.¹ A introdução e difusão de inovações passa, pois, por uma aceleração, qualitativamente diversa, com o amadurecimento da indústria de bens de capital, comparativamente à produção interna de máquinas.² Usher observa que “cada passo adiante na construção de ferramentas trazia consigo aumentos práticos no rendimento de todo o conjunto de máquinas”³, que afinal é uma forma de conceber as economias externas de que nos fala Rosenberg, mas economias dinâmicas, convém frisar, pois totalmente diferentes daquelas referidas pela teoria econômica convencional.

Macleod que, em pesquisa sobre a indústria de bens de capital no período, constata que de fato a produção interna reduz a difusão, também observa que, enquanto produtores esparsos, artesanais, têm padrões locais, os produtores de bens de capital estão interessados na sua padronização.⁴ E Rosenberg realça o papel da ferrovia não apenas na constituição de parte da indústria de máquina-ferramenta, mas também na redução do custo do transporte, especializado e elevado.⁵ Enfim, a formação de uma indústria nacional, que em qualquer atividade tem papel de suma importância ao promover a unificação de mercados, a

¹ A título de ilustração, Withworth, talvez o maior fabricante inglês de máquina-ferramenta do terceiro quarto do século XIX, afirma que o custo de mão de obra para aplainar manualmente uma superfície de 1 pé quadrado de ferro fundido, que era em 1826 de 12 *shillings*, cai para menos de 1 *pence* em 1856, usando-se uma plaina mecânica - portanto uma queda de 144 vezes. Cf. GILBERT, op. cit., p. 433.

² Naturalmente, esta aceleração depende da integração industrial.

³ USHER, op. cit., p. 302.

⁴ MACLEOD, C. Strategies for innovation: the diffusion of new technology in nineteenth-century British industry, *Economic History Review*, XLV(2), 1992.

⁵ A despeito da análise minuciosa do desenvolvimento da indústria de máquina-ferramenta, Rosenberg em nenhum momento cita alguma máquina que tenha sido introduzida em virtude de necessidades da ferrovia, o que leva a concluir que, da mesma forma como veremos adiante com relação à Inglaterra, ainda que a ferrovia tenha tido importante papel na consolidação da indústria, não motivou nenhum avanço técnico mais significativo.

padronização das condições técnicas, o incitamento a concorrência e a ampliação do tamanho absoluto do mercado, aqui tem seu papel exacerbado seja pela imposição de padrões às demais atividades e pela transmissão de conhecimentos técnicos como também por tratar-se da introdução e difusão de inovações, que são estimuladas.

A indústria de máquina-ferramenta é marcada pela existência de gerações de empresários capitalistas que se iniciam com outros empresários inovadores. Vimos que Maudslay trabalhara com Bramah. Aquele, por sua vez, foi um celeiro de inovadores, já que pode-se dizer que a totalidade dos que se lhe seguem formaram-se em sua empresa. Roberts, que se iniciara com Wilkinson, depois trabalha para Maudslay; Clement, que começara como trabalhador de Bramah, transfere-se para a empresa de Maudslay, antes dele mesmo abrir sua empresa. Também trabalharam com Maudslay: Nasmyth, Whitwhort e Ebert.

Sabemos que Bramah escolheu Maudslay por sua habilidade no uso de ferramentas, e também observamos que Boulton escolhia trabalhadores segundo seus dotes. Creio que pode-se generalizar, afirmando que empresários inovadores atraem e são atraídos por pessoal não apenas mais qualificado, mas mais engenhoso. Estes acabam por encontrar barreiras ao desenvolvimento de seu potencial e saem para fundar suas empresas. Empresas inovadoras, funcionam assim como pólos de aglutinação que formam não apenas tecnicamente, constituindo-se em verdadeiros centros formadores de capitalistas inovadores. Este é um eixo que dá continuidade ao processo de introdução de inovações.

Ainda que sejam mais marcantes na indústria de máquina-ferramenta, esses “pólos de efervescência” capitalista se dão em muitos outros setores. O mesmo se dá com Wedgwood, o conhecido líder da indústria cerâmica, pela intensificação da divisão do trabalho, da

burocratização da administração e da imposição de uma férrea disciplina fabril.¹ Ashton cita casos na indústria metalúrgica lembrando também que “Boulton e Watt instruíram toda uma geração de engenheiros, que incluía homens como Murdoch, Bull, Cameron, Southern, Ewart e Brunton”.² Iniciam-se como aprendizes de Cannan, um fabricante de máquinas têxteis de origem escocesa, McDonnel, Kennedy, os irmãos Murray (todos eles também escoceses, e do mesmo distrito) e Ewart, que trabalhara com Watt e torna-se sócio de Robert Owen. Todos eles virão a montar suas empresas de máquinas têxteis.

Não apenas Hobsbawm, mas também Lilley e outros autores, de modo a sustentar a simplicidade da transformação das condições técnicas argumentam que tratou-se da “obra de meros homens práticos”. É certo que, ao menos na indústria de máquina-ferramenta, foi uma vantagem para a Inglaterra contar com artesãos e depois com trabalhadores qualificados.³ Mas ainda que eventualmente tenham participado da introdução de inovações enquanto trabalhadores, são trabalhadores singulares, que vieram a tornar-se capitalistas, e foi sobretudo enquanto capitalistas, e não como homens práticos, que vieram a introduzir inovações.⁴ Também não é exclusivamente por serem indivíduos particularmente bem dotados. Ainda que

¹ Justamente por não dispor das mesmas possibilidades de transformar o processo de produção pela mecanização, Wedgwood introduz inovações que atingem o processo de produção desta forma - que sem dúvida é mais frágil. Tanto assim, que alguns de seus empregados vêm a tornar-se concorrentes diretos, enquanto em setores em que a metamorfose é dependente da introdução de novas máquinas, os trabalhadores que formam suas próprias empresas precisam eles mesmos serem inovadores.

² ASHTON, T. S. *A revolução industrial, 1760-1830*, 2ª ed. Lisboa: Publicações Europa-América, s.d., p. 115.

³ De início, os “engenheiros” (só depois foi criada a expressão) eram os artesãos construtores de moinhos. Mas em meados do século já vemos surgir Smeaton, um dentre eles, que particularmente se destaca, desenvolvendo e sobretudo aperfeiçoando várias máquinas, para o que aplica métodos que não se pode (des)qualificar de empiricistas, pelo contrário, pois faz mensurações as mais precisas possíveis, de forma a analisar os meios de aumentar a performance.

⁴ Vale notar que, no caso dos citados fabricantes de máquina-ferramenta, apenas Roberts não consegue amealhar fortuna.

inovadores, é a mobilidade social, permitida pela evolução capitalista, isto é, o objetivo de acumular capital como parte da natureza da própria sociedade, a possibilidade aberta por várias frentes de acumulação, a ausência de barreiras à entrada e os relativamente reduzidos capitais iniciais necessários, que permite a eles tornarem-se capitalistas. Hoje, sabe-se que novos setores em geral têm características semelhantes as que viemos de expor, mas à época tratava-se de algo inédito, referido à própria constituição do capitalismo.

A referência de Fairbain, um importante fabricante de máquina-ferramenta que ao chegar a Manchester em 1814 observara que a fabricação de máquinas era quase completamente executada manualmente, é por muitos autores usada para sustentar que o desenvolvimento da indústria é lento.¹ Lloyd-Jones e Lewis, ao observarem em meados da década de 1820 uma escassez de máquinas têxteis (há vários depoimentos de que a carteira de pedidos dos fabricantes estava completamente saturada, estimando-se em até três anos o prazo de entrega), levantam que uma das possíveis razões é a lentidão do uso de máquinas pelos fabricantes de máquinas. Gilbert afirma que Whithworth, em 1831, foi o primeiro fabricante a produzir máquinas para a própria indústria. E Musson observa que Nasmyth, o qual instala sua fábrica em 1834, deve ter sido o primeiro a produzir independente da existência de encomenda, chegando a ter catálogo de máquinas.² Sua argumentação tem como alvo principal mostrar que também na Inglaterra há iniciativas de produção em massa, já que Nasmyth deixou depoimentos comprovando ter se dedicado ao *lay-out* de fabricação e a produção com precisão

¹ “A totalidade das máquinas era feita à mão. Não existiam plainas, furadeiras nem máquinas de estampar; e com a exceção de tornos muito imperfeitos e umas poucas perfuradoras, as operações preparatórias de fabricação eram inteiramente feitas pelas mãos do trabalhador.” Citado em, MUSSON, E. A; ROBINSON, E. The origins of engineering in the Lancashire, *Journal of Economic History*, XX(2), jun 1960, p. 209-33.

² MUSSON, A. E. James Nasmyth and the early growth of mechanical engineering, *Economic History Review*, 10(1), 1957.

de modo que a montagem das partes pudesse ser parcela integrante e simples do processo, mas também é usada para mostrar um retardo na “maquinização” da indústria de máquina-ferramenta. Há também depoimentos da época, como o de Nasmyth que, em 1841, afirma que a plaina mecânica “fez mais nos últimos 10 a 15 anos para a redução do custo e para ampliar o uso de máquinas perfeitas que qualquer outro aperfeiçoamento em maquinismo no último século.” Isto não só permitiu a produção de máquinas bem melhores, a um custo muito menor, como “num intervalo de tempo muito curto um ramo muito importante dos negócios de produção de máquinas (*engineering*), qual seja, máquina-ferramenta, surgiu.”¹ De forma semelhante, em um relatório parlamentar de 1840 é afirmado que “ferramentas introduziram uma revolução nas máquinas e a máquina-ferramenta tornou-se um ramo da mecânica e um negócio muito importante, apesar de há vintes anos atrás ser pouco conhecido.”²

Com relação à observação de Fairbairn, o que não é discutido por estes autores é que, efetivamente, a indústria de máquina-ferramenta estava em seus primórdios e, como vimos, a maioria das máquinas é desenvolvida posteriormente. Portanto, em boa medida, ele está fazendo esta constatação. Já falamos do imenso cuidado de Maudslay de forma a produzir tornos de qualidade mas, afora a grande encomenda dos mais diversos tipos de máquinas para a Marinha, é pouco provável que produzisse apenas para uso próprio. Field, sócio de Maudslay, descreve a fábrica de Roberts, em 1821, como possuindo “bons tornos, máquinas de rosquear e de corte; com a última máquina ele faz uma boa parte do trabalho de corte dos maquinismos

¹ Citado em MUSSON, op. cit., p. 123. Nasmyth, em termos bem próximos aos de Fairbairn, afirma que, “durante os últimos 30 anos, ...praticamente todas as partes tinham que ser feitas e acabadas à mão... para a feitura de máquinas éramos completamente dependentes da destreza da mão do trabalhador e na correção de seus olhos”, o que atrasou o progresso industrial.

² *ibidem*.

para os fiandeiros, tanto em bronze como em ferro.”¹ Daí, e dada a introdução de melhorias ou a concepção de novas máquinas, torna-se mais clara a razão pela qual os fabricantes de tecido dirigiram para Roberts o pedido de desenvolvimento de um tear mecânico, desmentindo a lentidão da incorporação de progresso técnico na própria indústria de máquina-ferramenta. Contudo, a documentação da evolução econômica da indústria é parca, e poder-se-ia levantar a hipótese que apenas os fabricantes mais inovadores fazem uso intenso de máquinas, sendo por isto mesmo empresas líderes, o que reforça sua capacidade de inovar. No que diz respeito a estes, e dados os contactos que tinham entre si, é indiscutível que assim tenha ocorrido.

Ainda que, como observado, o estímulo ao desenvolvimento da indústria de máquinas-ferramenta provenha de diversas origens, é na produção de máquinas têxteis que há a primeira comprovação da existência de empresas especializadas, a tal ponto que na década de 1820 encontram-se produtores de um certo tipo de fuso. Com certeza, o tamanho absoluto do mercado permite e leva a especializarem-se. No período 1815-25, quando as informações coligidas por Lloyd-Jones e Lewis mostram um ritmo acelerado de crescimento das empresas têxteis em Manchester, também na produção de metais o crescimento é quase tão acentuado. O número de empresas cresce em 86%, sendo a maioria das empresas existentes em 1825 fundadas na última década (103 empresas), os ativos crescem de 121%, com aumento significativo do tamanho médio e há entrada de várias empresas de porte, ainda que isto pouco tenha aumentado a concentração do setor.² Constata-se ainda que Londres perde a liderança para Manchester em termos de conhecidos fabricantes de máquinas. Tudo isto nos conduz à

¹ GILBERT, *op. cit.*, p. 429.

² LLOYD-JONES E LEWIS, *op. cit.*, p. 167/8.

conclusão de que o papel da têxtil de algodão na formação da indústria de bens de capital não pode ser desconsiderado.

Os sinais da constituição desta indústria apontam, pois, para sua maioridade em algum momento entre as décadas de 1820 a 1840, sendo provável que na década de 1830 ela tenha alcançado tal grau. Porém, a dinâmica da economia inglesa não parece ser suficiente para que ela se complete. Nasmyth tem a mesma trajetória que a apontada por Rosenberg, vindo a fabricar locomotivas, e posteriormente funda uma empresa, cujo principal negócio é a produção de locomotivas. Rosenberg menciona outros casos de empresas inglesas que transitam de um setor para o outro, como verificou nos EUA.¹ Há, pois, indícios da ocorrência na Inglaterra de algo semelhante aos EUA. Todavia, a Inglaterra não chega a ter uma indústria de máquina-ferramenta “leves” como este país.² Entendo que o tamanho do mercado americano e o fato das exportações destas máquinas não chegarem a ser de monta, não permitem à indústria inglesa dispor da variedade nem da seqüência de impulsos que possibilitem dar continuidade ao processo de maturação deste segmento da indústria de máquina-ferramenta.

¹ Já na têxtil observa-se um movimento oposto ao esperável e descrito por Rosenberg para a indústria americana: a produção de máquinas inicia-se para uso interno e, com o crescimento da produção e do mercado, a empresa diversifica ou concentra-se na produção de máquinas. Alguns dos maiores produtores de fio e tecido, como os já citados McDonnel, Kennedy e os irmãos Murray, iniciam suas atividades na produção de máquinas. No entanto, isto se dá no período de transição da indústria, ou melhor, até os 1810, nenhum caso sendo relatado posteriormente.

² Uma indicação clara dos ritmos diferenciados de desenvolvimento da indústria de máquina-ferramenta inglesa e americana é a completa remodelação do Arsenal inglês de Enfield segundo a concepção de partes intercambiáveis, integralmente com máquinas de origem americana, em finais da década de 1850. AMES, E.; ROSENBERG, N. The Enfield Arsenal in theory and history, *The Economic Journal*, 78(312), dec 1968.

CAPÍTULO IV

FERROVIA E A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL: ALGUMAS
CONSIDERAÇÕES

A análise da história ferroviária, por um lado, constitui-se como que no fecho de uma era, e por outro lado, aponta para certas direções que o novo padrão virá conter. Permitir-nos-a pois proceder a uma síntese de várias das questões já discutidas.¹

Há historiadores que introduzem abruptamente em suas análises a ferrovia, discorrendo sobre a chamada febre ferroviária da segunda metade da década de 1830. Uns para assinalar seu papel no do departamento de bens de produção. Outros, para assinalar as antigas raízes e apontar a invenção como um momento central a partir da qual deveria seguir-se espontaneamente seu “uso”² Todavia, a ferrovia por ser um sistema complexo (o único sistema, em sentido literal, da revolução industrial), tem um longo processo de maturação e é o mais exigente em termos de condições técnicas dos demais setores. Logo, não pode, neste sentido, criar o departamento de bens de produção, mas pelo contrário, exige um departamento de bens de produção já razoavelmente desenvolvido - e não apenas ele. Realçar a invenção como produto da criatividade do gênero humano e pressupor que daí adviesse seu uso prático, já

¹ Por ser este o objetivo deste capítulo, o tratamento do progresso técnico será menos minucioso que nos capítulos anteriores. Mas as histórias do progresso técnico do setor mostram que o processo de inovações incrementais é semelhante às demais atividades já analisadas.

² Danilevsky nota q já no conhecido compêndio de Agrícola, *De re metallica*, de 1566, havia gravuras representando vagões movendo-se sobre trilhos. (DANILEVSKY, op. cit., p. 248). Lilley, naturalmente está entre os últimos, afirmando que a história da ferrovia, começa com as rústicas ferrovias alemãs de 1500 para transporte de minério. (LILLEY, op. cit., p. 205).

mostramos antes que é isolá-la das condições materiais e sociais de intervenção do homem sobre a natureza. Mas no mesmo erro caem aqueles que querem ver as “verdadeiras” origens de uma tecnologia em algum vestígio anterior. No limite, supõe-se possível uma ruptura drástica, como se a tecnologia só fosse verdadeiramente nova (revolucionária) se não contivesse nenhum elemento do conhecimento acumulado, partindo pois do “zero”. Terminam pois, por desprezar as condições materiais necessárias à transformação das técnicas; ou, como vimos, reduzem o progresso técnico à uma resposta a pressão da demanda. A ferrovia que o século XIX veio a conhecer, dá seus primeiros passos a partir da segunda metade do século XVIII, em um caminho que veremos ser tortuoso, marcado por várias tentativas frustradas.

É relativamente usual ao pensar nas inovações necessárias à ferrovia, acentuar, ou mesmo restringir-se, à locomotiva, e até mais ainda, à máquina a vapor. Todavia, trata-se de um sistema. Vejamos as principais partes constituintes deste sistema, cujas evoluções analisaremos a seguir. Num primeiro relance, uma ferrovia é constituída da combinação de um elemento de tração que se move sobre trilhos. Mas, os trilhos são montados sobre dormentes, que em seu conjunto formam a via para uso exclusivo de certo meio de locomoção, a estrada. A unidade de tração, que de início é o cavalo, vai ao longo do tempo conformando-se na locomotiva, que por si mesma contém vários componentes. Enquanto as vias são particulares não se apresentam problemas de sinalização, que virão mostrar-se necessários com as vias públicas. Outra necessidade que surge com a evolução da ferrovia é a comunicação rápida, o que veio a materializar-se no telégrafo. Há outros componentes, que por não apresentarem questões igualmente relevantes para a ótica que tomamos neste trabalho, não serão examinados, tais como: estações e vagões, ou que se apresentarão depois do período sob análise, com o desenvolvimento da ferrovia, como o freio.

O trilho é sem dúvida um dos únicos componentes já existente de longa data, mas é preciso passar por uma longa evolução, que não por acaso se acelera no último quarto do século XVIII. Já em 1630, começam a pôr sob trilhos de madeira, travessões do mesmo material de modo a facilitar a fixação permanente dos trilhos, isto é, dormentes. De modo a enfrentar o rápido desgaste da madeira, em 1738, passam a recapear os trilhos de madeira com ferro. Como já nos referimos, em 1767, é introduzido o trilho de ferro fundido pela metalúrgica de Coalbrookdale em via de uso privado. A partir de 1776, é introduzida uma rebarba lateral nos trilhos, do modo a aumentar a aderência da unidade de tração e dos vagões; em 1789, este rebordo passa a fazer parte da roda. Em ferrovia construída por Trevithick em 1804, cuja locomotiva apresenta grande importância na evolução da ferrovia, em vários trechos ocorreu rompimento do trilho de ferro fundido. Foi necessário usar ferro maleável, menos quebradiço, capaz de receber os impactos dos vagões sem se partir. Em 1820 é patenteado novo tipo de trilho, e iniciada a produção regular de perfilados em ferro maleável pelo processo de pudlagem, para uso como trilho.

A importância do trilho como parcela deste sistema complexo que é a ferrovia, pode ser bem ilustrada pelo aumento de performance que é capaz de provocar. Os trilhos de ferro fundido introduzidos pelos Darby, permitiam um cavalo puxar uma carga de 5 a 6 vezes maior, a maiores velocidades - que em estradas comuns. Enquanto os primeiros trilhos de ferro maleável permitiam um cavalo deslocar uma carga de 10,5 t., os trilhos de ferro fundido em certo tipo de via, apenas, 5 ou 6 t.¹ A limitação imposta pelo caráter subsidiário do transporte sobre trilhos, revela-se ao observarmos que o trilho com rebordo mencionado acima, aquele

¹ EVANS, F. C. Roads, railways and canals, *Technology and Culture*, 22 (1), jan 1981, p. 8 e 9.

que virá a ser a solução definitiva, é relativamente pouco usado, pois ao contrário do outro, não permitia o tráfego de vagões comuns de estrada.

As primeiras tentativas de construir uma unidade de tração movida a vapor, tinham a concepção de um automóvel utilizando vias comuns, com certeza devido aos coches (mas não apenas, como veremos adiante), isto é, são tentativas de extensão dos meios existentes, substituindo a tração animal pelo engenho mecânico. São elas: Cugnot, em 1769 na França, Evans, em 1772, Murdock e Simington, em 1785 e Trevithick, em 1802.

Trevithick, que conforme vimos, logo após caducar a patente do condensador de Watt, desenvolve uma máquina a vapor de alta pressão, e em grande medida em extensão a seus trabalhos com tal máquina, projeta em 1802, um auto-locomotor, na máquina a vapor do qual é incorporada uma chaminé que utiliza o fluido que já havia trabalhado no cilindro, aumentando assim sua eficiência - solução esta que virá a tornar-se padrão. Em 1804, projeta e faz funcionar, uma locomotiva usando tal tipo de máquina a vapor, para uso em via privada, de 15 km, ligando uma metalúrgica a um canal. Por estas razões, Dickinson afirma que Trevithick foi o idealizador da locomotiva, mas não apenas isto, como "provou - o que não era acreditado - que haveria suficiente adesão entre rodas lisas e trilhos para transmitir a força de tração." E novamente provando a existência de um processo de aprendizagem, de contínua busca, afirma este autor que a locomotiva construída por um mecânico ex-empregado de Trevithick serviu como modelo para Stephenson.¹

A idéia a qual se refere Dickinson, é que com duas superfícies que apresentassem as mesmas características lisas, não seria possível exercer a tração, mas ocorreria deslizamento de

¹ "Pode haver pouca dúvida que o conhecimento desta (a locomotiva de Gatheshad, o ex-mecânico de Trevithick) estimulou Stephenson em 1813 a fazer sua primeira locomotiva para uso na mina de Killingworth na mesma região carbonífera" que aquela para a qual foi construída a de Gatheshad. (DICKINSON, H. Watt. The steam engine... p. 189).

uma sobre a outra. Com razão, Danilevsky, lembra que a prova fornecida por Trevithick não se mostrou suficiente, já que a busca de soluções durante os 10 anos subseqüentes se deu em outras direções. Fez-se novamente algumas tentativas com o tipo automóvel. São concebidas locomotivas que reproduziam o movimento humano, com uma “perna” indo adiante da outra, o que leva Marx a lembrar que a comparação superficial entre máquinas modernas e aparatos antigos, e, este tipo de locomotiva, ilustra melhor que todos os demais casos, como velhas formas de produção podem imperar de início. Mostra também, como na busca do “novo”, as formas conhecidas podem ser reintroduzidas, numa tentativa de adaptação, que apenas a continuidade de experiências vem mostrar ser mais que tudo uma reprodução do antigo, a qual tende ao fracasso. Outras experiências, estas sim que vieram em algum momento a serem usadas, é o uso de motores estacionários, que exerciam a tração por meio de cabos e, o uso de cremalheiras, ao invés de trilhos lisos. É bem possível que tais tentativas não apenas tenham se mostrado úteis enquanto formas erradas de resolver, mas também tenham fornecido soluções ou princípios utilizáveis no que veio a ser a tecnologia vencedora. Sabe-se que pelo menos no caso das cremalheiras, a máquina a vapor para ela concebida, incorporou uma inovação de grande utilidade, que a permitia dar partida estando as manivelas em qualquer posição (importância que se acentuava com a necessidade, de início crescente, dado o aumento das distâncias, das paradas para reabastecimento de combustível ou água).

Os trabalhos de Hadley e Blaekett, realizados em 1812/3, é que definitivamente provaram que a fricção entre roda e trilho permitiam a tração. Usando um carro movido por pessoas sobre trilhos lisos carregando vagões, realizaram vários ensaios. Variaram o peso dos vagões para verificar o limite a que a “locomotiva” suportava sem patinar. Foi então determinado quantitativamente, que a fricção era de $1/300$ do peso que gravita sobre as mesmas e que o componente normal exercido sobre as rodas depende do coeficiente de fricção, o qual

corresponde a 1/6 do peso da locomotiva (a carga que recebem). Hadley, construiu então uma locomotiva em 1813, que se manteve em funcionamento até 1865.¹

Logo em seguida, em 1814, Stephenson, a quem normalmente é atribuída a glória da invenção da locomotiva, constrói sua primeira versão. No ano seguinte, juntamente com Dodd, e após efetuar aperfeiçoamentos, obtém patente da locomotiva. Aqueles que querem ver a invenção como um rompimento brusco com as formas antigas e o inventor como espécimen da capacidade criativa do homem como se um fosse por um *fiat*, verificar-se-ão frustrados (e quem sabe até não o acusarão de um reles imitador). Todavia, se sua locomotiva continha elementos de máquinas anteriores, a concepção global, é uma síntese, o resultado social de múltiplos esforços, portanto de vários investimentos. Já continha os elementos básicos: caldeira tubular, transmissão direta entre pistão e as rodas motrizes,² de outra construída em 1829, que virá ser o modelo dominante, e como exporemos, é motivo de uma interessante prova.³

Até fins do século XVIII todas as vias eram privadas. No início do século XIX, o Parlamento abre a possibilidade da construção de vias ditas públicas, e a primeira delas é de 1805. Tais vias ainda que de construção e propriedade privada, podiam ser utilizadas por qualquer um que dispusesse de uma "composição" (vagões, em geral tracionados por cavalo) mediante pagamento de pedágio. Todavia, como as vias privadas anteriores, elas eram de uso

¹ DANILEVSKY, op. cit., p. 251/5.

² Danilevsky destaca o fato da locomotiva conter: *palancas*, bielas e manivelas, prescindindo de rodas dentadas. (DANILEVSKY, op. cit., p. 255).

³ A ferrovia também é "inovadora" no sentido de inaugurar a tecnologia enquanto espetáculo e, acredito que sem se aperceberem deste fato, é assim abordada pela maioria dos autores. A primeira locomotiva construída por Stephenson, chama-se Blucher; a de 1829, recebe o simbólico nome de Rockett. Também os demais construtores dão nomes às suas locomotivas e os autores os mencionam, diria que de forma até íntima, como contendo certa "personalidade". Usualmente é destacada a existência ou não da atenção pública, como sinal de sucesso do experimento. A abordagem da referida prova, como feita pela maioria dos autores, salienta apenas a vitória da máquina sobre a capacidade motriz humana, enquanto espetáculo público, quando há aspectos econômicos extremamente interessantes.

exclusivo para uma ou poucas mercadorias afins. Em 1821, é autorizado pelo Parlamento a construção de uma via de Stockton a Darlington, em que a composição deveria ser movida por homens ou cavalos, e pela primeira vez para transporte de carga e passageiros. Em 1823, instado por Stephenson, o Parlamento altera o ato, permitindo o uso de locomotiva a vapor. Dois anos depois é aberta ao uso. Ainda que prevista para utilizar locomotivas, o transporte de passageiros é feito por tração animal, bem como na maior parte do trajeto, o transporte de carga utiliza tração animal.

Ainda não chegara o momento do triunfo da nova tecnologia. Contudo, o aspecto mais destacado, é a consequência desta concepção de via pública. Dado que qualquer proprietário de uma composição podia usar a via segundo seus interesses e possibilidades técnicas, o resultado foi o caos. Pode-se imaginar que composição com diferentes velocidades, não tendo previamente programados os pontos e o tempo das paradas, o caos seria o resultado previsível. No entanto, a inexperiência com algo totalmente novo e o apego ao padrão concorrencial, tornou transparente a anarquia do mercado. A impossibilidade prática de coordenação foi amplificada por questões técnicas, como a inexistência de sistema de sinalização e, por existir uma única via.

A ferrovia, que ainda na década de 1820, não pode ser vista como um sistema complexo, como bem mostrado pelo que ocorre na linha Stockton-Darlington, apresenta o seguinte cenário: a) É bastante reduzido o uso da locomotiva a vapor; b) São poucas as mercadorias para as quais o transporte ferroviário é significativo, basicamente minérios (destacando-se carvão) e secundariamente produtos metalúrgicos¹; c) a ferrovia existe de forma subsidiária e enquanto complemento do transporte por canal.¹

¹ Segundo Derry e Williams, por volta de 1825, das 26 locomotivas em operação, 18 eram usadas para transporte de carvão. (DERRY E WILLIAMS, op. cit., p. 484). E a se fiar em depoimento de Stephenson, em

Em 1826, após ter sido no ano anterior derrotada, é aprovada por Ato Parlamentar a construção da ferrovia que se tornará um marco em sua história, a linha Manchester-Liverpool, por: definir a locomotiva a vapor como solução definitiva, pelas necessidades impostas à construção da via e do financiamento de grandes massas de capital, que marcarão a história da ferrovia. Inicialmente prevista para operar por meio de cabos com 21 motores estacionários ao longo da via, novamente por instâncias de Stephenson, acaba sendo aceita a solução da locomotiva a vapor. Após serem resolvidas dificuldades postas pelo financiamento, em 1829, é realizada uma prova aberta a qualquer construtor que atendesse a certos requisitos mínimos.² O ganhador seria o fornecedor. Além de quatro fabricantes de locomotivas a vapor, apresenta-se um projeto denominado *cyclopede*, cuja função de tração era exercida por cavalos e outro, “manumotive”, em que a composição era posta em movimento por dois homens (o projetista imaginava utilizar passageiros que desejassem viajar por tarifas mais baixas!).

Este concurso é usualmente ressaltado por definir que daí para diante nenhuma dúvida mais restará sobre a incapacidade da força orgânica competir com a mecânica, havendo mesmo aqueles que usam como sinal de tergiversação quanto as vantagens da mecanização. Sem desmerecer o primeiro tipo de abordagem, inclusive por seu valor simbólico, entendo que

1825, é possível que a maioria tivesse sido fabricada por sua empresa, já que até este ano afirma ter fabricado 16. (DENILEVSKY, op. cit., p. 255).

¹ No entender de Mathias, o papel das ferrovias, que era de “alimentar os canais existentes, estendendo a capacidade de transporte”, só se altera a partir de meados da década de 1830 (MATHIAS, op. cit., p. 256). Segundo Lilley, a extensão das ferrovias públicas construídas até 1820 foi de aproximadamente 200 milhas; Mathias, afirma que até 1823 foram construídas 23 destas ferrovias. Logo a extensão média provavelmente foi inferior a 8,7 milhas, confirmando seu caráter complementar ao transporte por canais. Como prova complementar, Mantoux observa que “nos documentos parlamentares referentes à abertura de canais fala-se amiúde em *railways* ou *railroads* construídos ao mesmo tempo que os canais para formar uma rede.” (MANTOUX, P., op. cit., p. 288 nota 2).

² Um destes requisitos é que a locomotiva deveria ter preço não superior a £550. A título de comparação, o que dá uma pálida idéia do volume de capital exigido, um tear mecânico, mais ou menos à mesma época, custava em torno de £15.

seu aspecto mais significativo está em realizar uma competição para definir a melhor solução técnica. Diante de várias tecnologias - nenhuma delas tendo comprovado sua superioridade - e possíveis fornecedores, fazem uma prova para definir de maneira clara a melhor alternativa, levando pois ao extremo o padrão concorrencial e, buscando obter a maior rentabilidade possível nas condições do momento para a elevada massa de capital.

As exigências com relação a capacidade de construção da via foram igualmente marcantes. Stephenson, que também dela se encarregou, “foi obrigado a construir 63 pontes, um túnel de 2 km, e pôr trilhos sobre áreas pantanosas de uma extensão de 5,5 km (chegando a uma profundidade de 15 m).”¹

O papel dos canais não pode ser exagerado. A ferrovia, não enquanto linhas isoladas, é impulsionada enquanto parcela da rede de canais; fornece a base técnica para a construção civil das vias férreas, e mais importante, a base organizacional, já que a tecnologia era de fato rudimentar; e a denominada febre de construção de canais, que ocorreu em 1790-94, abre a possibilidade de financiamento via bolsa de valores, portanto a centralização de capital, indispensável ao financiamento do sistema ferroviário.

A evolução da ferrovia apresenta fases claramente definidas. A primeira, que vai até o início da década de 1830, na qual é basicamente subsidiária da rede de canais e com linhas de curtas distâncias. Ainda que ao longo do período as vias de privadas tornem-se públicas e que ocorra uma ligeira diversificação das mercadorias que dela se utilizam, de fato pouco se altera a natureza do transporte ferroviário, ainda que em meados da década de 1820 já se observe sinais de sua futura ascensão. A ferrovia, que nasce sob o estímulo da rede de canais,² por seu caráter

¹ DANILEVSKY, op. cit., p. 253.

² No sentido de passar a conter uma dinâmica que não permita longos períodos de estagnação, dinâmica esta que se dá sob o domínio do transporte por canais.

complementar, tem seu desenvolvimento restringido. Estamos em uma fase preparatória, em que os variados meios técnicos dos quais necessita estão a se desenvolver e diversas alternativas sendo experimentadas.

Ainda que não disponhamos da extensão das vias construídas no período 1825-32, a tabela abaixo mostra que dado o capital levantado, pode-se deduzir que foi bastante reduzido o movimento de construção de estradas de ferro. Ainda que o investimento ferroviário tenha crescido no período 1832-35, ainda não é de monta.

REINO UNIDO: EXTENSÃO E FONTES DE FINANCIAMENTO PARA A
CONSTRUÇÃO DE FERROVIAS
(Valores em £1.000)

	EXTENSÃO				FORMAS DE FINANCIAMENTO			
	Milhagem sancionada	Milhagem aberta ao tráfego	Média anual sancionada	Média anual aberta ao tráfego	Capital acionário	Empréstimos e debêntures	Total	Total: Média Anual
1825-31	...	...	...	...	6.997	1.945	8.942	1.277
1832-35	589	198	147	50	14.966	4.844	19.830	4.958
1836-41	1.597	1.436	319	287	136.536	62.342	198.878	33.146
1842-43	145	269	73	135	225.835	119.071	344.906	172.453
1844-50	9.857	4.514	1.971	903	841.518	278.199	1.119.717	159.960

FONTES: Extensão: Lewin, H.G. *Early British railways*, 1928, p. 186 e *The railway mania and its aftermath*, cf. compilado por Mathias, *The first industrial nation, an economic history of Britain, 1700-1914*, p. 257. Capital levantado: HAWKE, G.R. e REED, importa@C. *Railway investment in the United Kingdom in the nineteenth century, Journal of Economic History*, p. 271.

NOTA: Os períodos foram definidos pelo autor, em função das variações dos valores. Não há coincidência com os ciclos usualmente citados, em razão da defasagem entre aprovação da construção pelo Parlamento Britânico e sua abertura ao uso (devido tanto à duração da construção como a eventuais demoras para iniciar o projeto).

No primeiro surto ferroviário da segunda metade da década de 30, que determina a segunda fase, são construídas basicamente linhas regionais, de distâncias relativamente pequenas (ainda que mais longas que as da fase anterior). Ao que tudo indica as condições técnicas já estavam amadurecidas, contudo, o transporte ferroviário ainda de algum modo mantém-se atrelado a rede de canais. Os canais por exigirem volumes elevados de investimento

justamente ocupavam os trajetos de maior fluxo, as linhas tronco, de maior extensão, que só virão efetivamente receber a atenção dos investidores em ferrovia na década seguinte. Outrossim, as empresas proprietárias de canais reagem, segundo Evans já em meados da década de 20, seja por meio de melhorias técnicas, inclusive com o uso de tração a vapor,¹ seja pela redução das tarifas, o que prossegue até que a grande maioria não seja capaz de pagar dividendos, isto já na décadas de 40-50.²

Vários autores, na trilha de Mitchell,³ acentuam que a ferrovia demora a fixar-se como principal meio de transporte. O argumento mais aventado, é que contrariamente à expectativas bem firmadas, durante um largo período a receita das ferrovias proveniente do transporte de passageiros é superior à de carga. Aquela receita, em 1842-43, foi de £3,1 milhões (69%) de um total de 4,5 milhões; em 48: £5,6 milhões (57%) de 9,8. Apenas em 52 a receita do transporte de carga ultrapassa a de passageiros.⁴

No que diz respeito ao transporte de carga, parece-me que não há o que estranhar. Afora os motivos aduzidos acima, este transporte guia-se pelo cálculo econômico (mesmo que ainda fosse “incompleto” àquela altura) e os usuários já possuíam seus esquemas operacionais integrados aos canais. Não é ocasional que a receita de carga supere a de passageiros, justamente depois do sistema ferroviário tornar-se verdadeiramente uma malha, após a *railway*

¹ EVANS, op. cit., p. 19. Se o “novo” parte do “antigo”, também o antigo usualmente tenta imitar o novo. Evans descreve curiosas (uma delas poder-se-ia qualificar de extravagante) tentativas dos proprietários de canais e fornecedores de tecnologia de concorrer com a ferrovia, usando soluções semelhantes a esta, inclusive locomotivas.

² É de imaginar que a incapacidade de pagar dividendo se devia ao fato de terem lucro muito reduzido ou mesmo prejuízo.

³ MITCHELL, B. R. The coming of the railways and the United Kingdom economic growth, *Journal of Economic History*, XXIV, 1964.

⁴ MITCHELL, op. cit., p. 318.

mania da segunda metade da década de 1840. Já no tocante ao transporte de passageiros, Mathias nota que, “uma grande surpresa dos 30 é o enorme potencial de tráfego de passageiros.”¹ Possivelmente a novidade representada por este meio de transporte, atinja mais facilmente o eventual usuário, e a vantagem da menor duração da viagem seja bem mais acentuada que para o transporte de carga. De qualquer forma, a nos fiarmos neste autor (que não fornece nenhuma prova documental), a despeito do crescimento do transporte por canais, a maior parte do crescimento do transporte de carga a partir de meados dos 30 é feito por ferrovias.²

A terceira fase, corresponde à construção das linhas tronco e a integração do sistema ferroviário em um malha densa. As extensões, e naturalmente o volume de capital aplicado, várias vezes superior à fase ascendente do ciclo anterior, comprovam um esforço qualitativamente diferente. Também neste período inicia-se um movimento de conglomeração que virá a intensificar-se sobremodo na década seguinte. É a partir de então que se pode, a rigor, falar dos poderosos efeitos da ferrovia sobre a economia em geral, pelos estímulos que provoca sobre variadas atividades e através da unificação do mercado, e embora que já viesse ocorrendo, por causa da redução de custos de transporte. Alguns autores, e Mitchell é apenas um deles, tentam reduzir a importância de tais efeitos, argumentando que o sistema de canais

¹ MATHIAS. op. cit., p. 256.

² MATHIAS. op. cit., p. 253. Com relação ao tempo, ainda que um exemplo isolado, vale observar que mesmo para o transporte de mercadorias a duração da viagem podia ser significativa, já que segundo este autor, o transporte de produtos de algodão de Manchester a Liverpool, por canal, na melhor das condições, demorava 36 horas. (MATHIAS. op. cit., p. 252).

integrado às rodovias, atendia a maior parte das regiões de maior significação econômica, bem como o transporte marítimo, dado que as distâncias da costa são em geral reduzidas.¹

Esta discussão parece-nos merecer um exame atento, e nos ajudará a analisar o papel do sistema ferroviário. O transporte por terra, sobretudo o rodoviário, exceto em curtíssimas distâncias, é sob todos os aspectos, precário, e muito inferior ao ferroviário. Se servia à economia do capitalismo em formação, é totalmente incapaz de atender às necessidades do capitalismo desenvolvido. Os canais, ainda que atendessem a maior parte das rotas com intensidade de fluxo mercantil, vinham apresentando claros sinais de esgotamento, diante da necessidade de construção de grande quantidade de comportas e eclusas e da concorrência com os demais usuários das águas fluviais (indústrias e agricultura). As tarifas cobradas pelas empresas proprietárias de canais caem, justamente pela concorrência com a ferrovia, chegando ao ponto de muitas não serem capazes de obter mais que o custo marginal², ou seja, tentaram alongar sua "sobrevida" - o que por outro lado é um indicador da redução de custo promovida pelo sistema ferroviário (e não deixar de ter em conta que os canais aumentaram sua eficiência). À medida que a ferrovia aumentava a velocidade do transporte e reduzia custos, com certeza repassado para as tarifas, dado o comportamento das tarifas dos canais - tornava-se imbatível.³ A ferrovia imprime ao caráter nacional da economia inglesa, outra dimensão ao torná-lo compulsório e regular. Esta regularidade, que passa a permear até mesmo o cotidiano dos cidadãos, é indispensável aos padrões rígidos que o capitalismo vai impondo.

¹ Tais autores mencionam sobretudo as rodovias, e não as ferrovias, talvez pela maior cobertura geográfica daquelas.

² Particularmente após a década de 50, que marca a agonia dos canais.

³ A limitação do transporte por canais ante o aumento da velocidade, é mesmo de natureza física, pois como lembrado por Evans, a resistência oferecida no transporte por água, cresce com o quadrado da velocidade, enquanto no transporte por terra, praticamente mantém-se inalterado. (EVANS, op. cit., p. 18).

Penso que a razão para a tentativa de reduzir a importância da ferrovia, está sobretudo em, partindo da (suposta) *lentidão* em provocar transformações, circunscritas a umas poucas atividades, reavaliar, minorando o papel da revolução industrial.¹ No caso de Mitchell, que explicitamente tem em mente a comparação com a ferrovia nos EUA, ela justamente nos permite extrair uma conclusão importante, que naturalmente não é a do autor. Nos EUA, a ferrovia que não é gerada no bojo da expansão do transporte por canais, tem papel central na abertura de novas áreas, com todas suas conhecidas implicações. Já na Inglaterra, a ferrovia sofre as restrições de nascer como parte subsidiária dos canais, terá depois de competir com eles, que reagem à concorrência - e não pôde da mesma forma como nos EUA abrir novas fronteiras de investimento - pois o território inglês já estava em grande medida economicamente ocupado.²

A quarta e última fase, que aqui neste estudo nos interessa, é a conglomeração, que parcialmente se superpõe à terceira. O padrão concorrencial típico do estágio de formação do sistema ferroviário, gerara uma grande quantidade de empresas, muitas com uma ou muito poucas linhas, em geral com baixa rentabilidade. Ao constituir-se a malha, simultaneamente surge a necessidade de integração das empresas para ocuparem espaços mais amplos e garantirem mercado e rentabilidade. Uma vez completada a rede, isto é, após o início da década de 50, por um lado novas linhas específicas só têm capacidade de sobreviver se integradas, por outro lado, a redução das oportunidades de investimento, leva à concentração de capital. Mas no caso da ferrovia, diferentemente dos demais setores aqui analisados, o financiamento

¹ Na verdade quase todos que assim fazem, têm como referencial o capitalismo do último quarto do século e início deste século.

² É sintomático que os autores que citam novos centros urbanos criados pela ferrovia na Inglaterra, mencionam a mesma cidade. Compare-se com os EUA - a diferença é gritante.

apresenta-se como “problema”, dados os elevados capitais necessários e a relativamente baixa rentabilidade.¹ Diante da queda do entusiasmo com as ações das ferrovias e conseqüentemente do financiamento via bolsa de valores, os capitais são obrigados a redirecionarem sua expansão, mediante fusões e aquisições. Isto leva também a que as grandes empreiteiras, geradas pelo próprio desenvolvimento da ferrovia, passem a desempenhar papel de relevo no investimento ferroviário. A violência do processo de concentração pode ser avaliado pela redução do número de empresas, de 200 em 1843, para 22 grupos regionais em 1850.²

O padrão concorrencial gerara ainda ineficiência social, expressa em um crescimento desorganizado, com inúmeras estradas praticamente inviáveis, de curtas distâncias e desintegradas, e a questão técnica delicada, com repercussões operacionais e econômicas consideráveis, como: a falta de padronização, até mesmo das bitolas dos trilhos.³ Naturalmente, a centralização opera em sentido contrário. Certos autores fornecem como argumento para o crescimento do transporte de carga a redução do tempo e do custo de traslado, que no entender de Mitchell, é conseqüência da alteração de procedimentos burocráticos.⁴ Todavia,

¹ A exceção é a metalurgia, que no entanto não chega a apresentar no período as mesmas necessidades tanto de financiamento quanto logísticas.

² MATHIAS, op. cit., p. 262. A documentação que pude dispor sobre o financiamento das ferrovias foi insatisfatória, em particular sobre o processo de concentração. Por vezes as informações eram contraditórias, o que não pudemos dirimir. Neste caso, Kenwood, em artigo assaz citado, afirma que o período de maior intensidade de concentração foi posterior a 1850. (KENWOOD, A. G. Railway investment in Britain, 1825-1875, *Economica*, xxxii, aug 1965, p. 316/8).

³ Deve ser notado que apenas nas duas últimas décadas do século é que surge um órgão estatal com efetivo poder regulatório.

⁴ MITCHELL, op. cit., p. 319. Tal alteração foi um novo sistema de classificação de mercadorias. Afirma ele ainda, que as operações de traslado eram até meados-fins da década de 40, mais eficientes nos canais que na ferrovias. Mathias assinala a formação de uma câmara de compensação, em 1842, de modo que as empresas detentoras de linhas tronco realizassem a consolidação das contas inter-empresas, o que pode muito bem ser outro fator na maior facilidade de traslado. (MATHIAS, op. cit., p. 262).

certamente a centralização tem participação acentuada na maior rapidez de tais operações, como em geral no funcionamento da logística.

A última observação que cabe fazer relativamente ao processo de centralização, é que tal processo apresenta contornos de guerra estratégica, já que as empresas se defendem e atacam para garantir territórios. O que se dá por meio de novos investimentos que preservem ou ampliem áreas de modo a assegurar sua exploração que está sob risco de outro capital e através de aquisições.¹ Parece-me plausível sustentar que esta forma de concentrar capital, mantém resquícios do padrão concorrencial, já que se faz através de uma disputa imediata pelo mercado, sem lançar mão de armas tais como: inovações, novos serviços, etc. Enquanto Mathias sustenta que mesmo após a intensificação do processo de concentração, permanece o desperdício com a construção de linhas competitivas, Kenwood, afirma terem as novas linhas, um caráter defensivo. A conciliação dos dois pontos de vista, fortalece a hipótese da conglomeração ser uma herança do padrão concorrencial, já que o tipo de estratégia seguida continua levando a construção de linhas competitivas.

As exigências do financiamento do investimento em ferrovias impuseram novas necessidades ao sistema financeiro, em particular às bolsas de valores, podendo-se afirmar que os gastos de capital por elas provocados levaram à formação de um mercado nacional de capitais. A formação das massas de capital exigidas seriam inviáveis sem sua centralização, que se deu através do financiamento em bolsa. A tabela apresentada anteriormente mostra que, exclusive a acumulação interna, pelo menos entre 65 e 75% do capital aplicado foi financiado

¹ Kenwood afirma que o processo também podia ter a forma de *leasing* ou de acordos entre empresas. (KENWOOD, op. cit., p. 317).

através da bolsa por meio de capital acionário.¹ Os estudos de Shannon, mostram: “as ferrovias permitiram a aceitação geral das sociedades anônimas”; a febre dos anos 40 levou a bolsa a se envolver seriamente com ações, deixando de concentrar-se em títulos públicos; e por fim, as bolsas provinciais firmaram-se.²

Outras atividades que experimentavam fortes efeitos diretos do investimento ferroviário, foram: metalurgia, construção civil, máquinas e equipamentos, e carvão. Ainda que a demanda sobre estes setores possa ser altamente representativa — convém ressaltar que o efeito sobre o progresso técnico é bastante reduzido. Já observamos no capítulo anterior que praticamente inexistente inovação tanto na metalurgia quanto nas máquinas-ferramenta promovida pelo desenvolvimento da ferrovia.³ Durante o período, a construção civil permanece operando sob condições técnicas que pouco se alteram. Com relação ao carvão, não encontramos na literatura nenhuma referência a qualquer inovação provocada pela ferrovia.

Penso que a razão para que tais efeitos sejam reduzidos, resida no alto nível de exigência sobre as atividades que a ferrovia necessita para seu desenvolvimento. Por outro

¹ Pelo menos, já que debêntures também podiam ser lançadas em bolsa. Todavia, nem toda a formação ou elevação do capital acionário pode ter se dado por meio da bolsa. Os autores não prestam informações que permitam melhor precisar, mas os historiadores sempre destacam a bolsa.

² SHANNON, H. A. The coming of general limited liability. In, Carus-Wilson, E.M. (ed.), *Essays in economic history*, v. 1, p. 376, citado em MITCHELL, op. cit., p. 330.

³ Pode no entanto ter provocado inovações incrementais do tipo que Landes chama a atenção no aumento da eficiência da metalurgia, que passam despercebidos mas que podem ser em conjunto significativos. Tais inovações se dão ao longo de relativamente grandes intervalos de tempo e devem-se sobretudo a continuidade da produção e a seu aumento. Contudo, vale observar que é praticamente impossível diferenciar o efeito destas “pequenas” inovações das inovações “maiores” ou incrementais que tratamos.

lado, quando a própria ferrovia deslança (e para este fim estamos considerando meados da década de 30), metalurgia e máquinas-ferramenta já estão amadurecidas tecnicamente.¹

Estas considerações não nos devem todavia levar a perder de vista que os efeitos sobre a produção e a exportação destes setores é marcante. Já observamos ser vigorosa a demanda de produtos metalúrgicos por parte da ferrovia. No entanto, as informações disponíveis são tão dispares que julgamos inadequado fixarmo-nos em algum valor.² Mitchell estima que a demanda de máquinas e equipamentos nos fins dos 40, é de 20%, o que sem dúvida é bastante alto, mas convém recordar que estamos no auge da construção ferroviária.³ Foi a construção civil “pesada” o setor “real” sobre o qual o poder de transformação da ferrovia mostrou-se mais forte. Achando-se em estado de letargia após a queda da construção de canais, a ferrovia daí parte, desenvolvendo-a. De início o setor é dominado por pequenas empreiteiras, que segundo afirma Mathias, provoca não poucos dissabores às empresas ferroviárias, o que afinal é compreensível diante das necessidades de organização postas por grandes obras. Ocorre pronunciada centralização no setor, que passa a ser dominado pelas grandes. Ao arrefecer a construção de novas vias férreas tornam-se elas mesmas grandes investidoras do

¹ Naturalmente estamos pensando em amadurecimento durante a revolução industrial. A indústria de máquinas-ferramenta, vimos que mesmo depois desta época ainda tem inovações importantes, mas isto a nosso ver não chega a invalidar esta asserção.

² A partir dos dados de Clapham: 11,2% da produção metalúrgica acumulada do período 1825-48. A partir das informações citadas em Danilevsky, 24,7% no período 1830-50. Já Mitchell, estima que, apenas a via permanente significou no *boom* de 1844-51, 17,9% da produção do Reino Unido, e 28,6% de seu consumo aparente. (MITCHELL, op. cit., p. 325). Este cálculo seria mais correto, se incluísse as exportações derivadas da expansão ferroviária em outros países.

³ MITCHELL, op. cit., p. 328.

setor.¹ Deste modo, a expansão ferroviária tem pronunciados efeitos dinâmicos e interindustriais, entretanto, pouco afeta o progresso técnico das atividades afins.

II

A ferrovia apresenta vários pontos em comum, com os setores analisados nos capítulos anteriores que convém explorar.

Mais que qualquer outra atividade, tem ela como pré-condição para marchar sobre seus próprios pés um razoável nível de desenvolvimento de outros setores. Por esta razão, por nascer subordinado à outra atividade com considerável poder irradiador e que também exigia elevados montantes de capital e, por constituir-se em um sistema complexo, seu processo de maturação é longo. Uma vez tendo a ferrovia deslanchado, seu movimento próprio estimula ou mesmo gera outras atividades. Tal é a concepção aqui adotada de interação dinâmica, que potencialmente o progresso técnico contém. Via de mão dupla, em que uma atividade, por um lado depende do grau de desenvolvimento de outras, por outro, através da criação de novos problemas e soluções (associados sobretudo ao investimento) e, do crescimento de sua produção, impulsiona estas e/ou outras atividades. Observa-se portanto um processo de superações e realimentações sucessivas.²

¹ Os grandes empreiteiros mais citados são os filhos de Brunell (que relembro, é quem projeta e monta com o auxílio de Maudslay as novas instalações dos arsenais ingleses) e de Stephenson. Dinastias de capitalistas não são exclusivas dos EUA, e apontam na direção de menor possibilidade de ascensão sem as devidas "credenciais", ao contrário do que se sucedia no século XVIII.

² Não temos nomeado o caráter desarmonico do progresso técnico, mas aqui vale lembrar um de seus aspectos. A dinâmica dos diversos setores analisados apresenta diferenças. A metalurgia e a têxtil são menos exigentes em termos de pré-condições das condições técnicas de atividades específicas, enquanto a ferrovia situa-se no extremo oposto.

Há uma continuidade e multiplicidade de esforços para a superação de problemas, que são repostos, gerando um fluxo de inovações incrementais,¹ indispensável para que o progresso técnico tenha a capacidade dinâmica que apontamos. Tais inovações são centrais na determinação da trajetória tecnológica. Todavia, em fases preliminares pode existir várias alternativas técnicas, mas no período, também por serem os investimentos necessários relativamente reduzidos face à expectativa de lucro.² Ainda que existam várias alternativas, e a trajetória esteja pois em aberto, a busca pode se dar sem que todo o conhecimento seja efetivamente utilizado.

No caso da ferrovia, ocorreu uma dispersão das tentativas, sendo praticamente abandonada a via que veio mostrar-se como definitiva. Foi preciso a demonstrar que a força de fricção entre roda e trilho permitiam a tração, para que se afinilasse a busca e as atenções voltassem a se concentrar na direção mais promissora. Esta prova, efetuada no estilo dos testes científicos da época, chega a conclusões e à determinação de parâmetros, típicas da engenharia do fim do século passado e do atual. Ainda assim, a definição da alternativa mais adequada, bem ao estilo concorrencial, exigiu uma prova que tornasse indiscutíveis a tecnologia e o fornecedor mais capazes.

A existência de várias alternativas se dá, seja pela inexistência de barreiras à entrada, inclusive as de pesquisa e desenvolvimento, seja pelo montante relativamente reduzido dos investimentos necessários. Contudo, o montante pode em certos setores ser elevado para

¹ Fluxo este que tende a não ser contínuo, inclusive por depender de outras atividades.

² A inexistência de barreiras à entrada, típica do capitalismo concorrencial, neste momento não são tão relevantes, pois elas são normalmente reduzidas para atividades "totalmente novas".

padrões da época e tendeu a aumentar.¹ Estamos falando de investimento, portanto de aplicação de capital que visa o lucro, ainda que no capitalismo concorrencial. Não é por outra razão que o sucesso cabe a capitalistas, os quais estão “continuamente” a dirigir sua atenção para a melhoria das condições técnicas e dispõem das condições específicas (o uso da tecnologia) de modo a aumentar o lucro — e não, a “meros homens comuns”. Stephenson, era com certeza o maior fabricante de locomotivas, um importante construtor de vias férreas e teve em mais de uma ocasião de lutar por seus interesses, disputando frentes de investimento com outros capitais que usavam tecnologia diversa da sua.

A multiplicidade de investimentos privados é socializado, pela demonstração de que certas direções de busca são equivocadas ou pelo aproveitamento de soluções, mesmo em tentativas frustradas. Por outro lado, o investimento da sociedade é maior que o investimento privado que resultou na inovação bem sucedida, o que deve ser considerado ao sustentar que os recursos necessários foram de pequena monta. Há uma aprendizagem social, apropriada de forma privada, sobretudo pelos inovadores e líderes da indústria (já que tendem a aperfeiçoar os processos com mais intensidade e a serem os primeiros usuários das novas tecnologias).

O caráter social e especificamente capitalista é entretanto perdido em muitas das análises do período. Uma das formas de manifestar-se é focar no invento que encerra em si um ou mais princípios gerais e a tecnologia como caudatária destes. Paralelamente acentua-se o inventor como indivíduo heróico, que exercendo sua curiosidade desinteressada, solitariamente, independente das condições materiais e como se sua invenção fosse um rompimento abrupto com o que até então era conhecido. Daí é um passo para entender o

¹ Em geral as inovações de maior envergadura posteriores a 1820, exigem montantes substancialmente maiores que os da têxtil do século XVIII, a referência usual.

inovador de sucesso como alguém que apenas copia o já conhecido, ou para os mais extremados, um ladrão de idéias alheias.

É numerosa as mediações existentes entre princípios gerais e sua materialização em inovações comercialmente bem sucedidas.¹ Desconhecê-las é ignorar que depende de condições materiais (técnicas e econômicas), e também sociais — que recordamos, existentes pela primeira vez na história humana com o capitalismo. Afora a ética capitalista não comportar o roubo de idéias (e para isto existe a patente com todas suas limitações), não são indivíduos apenas em busca do progresso do conhecimento, mas sim capitalistas. E seus produtos, não são como que obra de uma genialidade que independe da sociedade, mas parte do conhecimento socialmente disponível (ainda que não necessariamente todo o acervo) e, apóiam-se em suas organizações, isto é, na estrutura dos capitais de que dispõem. Observamos que muitos eram os casos em que o inovador contava com a ajuda de trabalhadores de sua empresa (os quais não eram também um “trabalhador comum” pois a maioria veio a montar ou tentar montar sua empresa). O mesmo se dá com Stephenson na concepção da locomotiva usada na prova de 1829, cuja idéia da caldeira tubular parte de um trabalhador, e conta além disto com a ajuda de seu filho, que veio a tornar-se um grande construtor de ferrovias.

Já ressaltamos a novidade, que virá a ser comum no futuro, da ferrovia constituir-se num sistema complexo, o que provoca a intensificação das relações de interdependência e interação dinâmica. Além das várias menções que fizemos, Usher, após lembrar que as várias tentativas de construção de uma locomotiva esbarrava na dificuldade de produzir a quantidade

¹ Mesmo em pesquisas relativamente recentes foram verificados intervalos (que do fim do século passado até fins da década de 60 pareciam mostrar uma tendência à queda) variando entre 13 a 20 anos entre a invenção e sua incorporação em uma inovação com algum sucesso comercial (citado em MANSFIELD, E. *The Economics of Technological Change*. New York: W. W. Norton, 1968, p. 100/103). Outra prova também recente, e ainda mais eloqüente, é que mesmo os ingleses tendo cedido para americanos os *desenhos* da turbina a jato no fim da IIª Guerra Mundial, foi preciso um ano e meio para conseguirem construí-la.

de vapor necessária, afirma: “os engenheiros tardaram a dar-se conta da importância que tinha preparar a via de maneira a evitar inclinações fortes. George Stephenson foi o primeiro a se dar conta da importância que tinha para a exploração prática da locomotiva as resistências encontradas nas curvas e inclinações.”¹ Se aqui aparece mais claramente Stephenson sendo capaz de tirar partido da percepção do papel das “resistências”, também mostra as restrições impostas por ser um sistema. Em sistemas complexos, a interdependência tende a criar rigidez para avanços em componentes específicos, acentuando a importância das inovações incrementais.

Também por ser um sistema complexo, a ferrovia tem não apenas poderosos efeitos para trás e para frente, como conseqüências abrangentes sobre a economia e a sociedade. Reduz o capital variável por tornar mais rápido, mais regular e diminuir custos de transporte. Ao unificar o mercado, contém forças centralizadoras, expondo à expansão do capital áreas antes relativamente protegidas. O que, como bem lembrado por Ashton, estimula a concorrência e a estabilização de preços.

Há um aspecto da transformação das relações sociais que vale sublinhar, por apontar o caráter universalizador que o capitalismo provoca e, que tem talvez na ferrovia seu primeiro grande meio. Facilidade, rapidez e baixo custo de locomoção, tornam o Reino Unido de fato uma “pequena” ilha, pela qual as pessoas, mesmo as de poucos recursos (havia até terceira classe), podiam transitar facilmente. O provincianismo e seus correspondentes enclausuramentos sofrem um golpe fatal. Assim como as pequenas vilas tornam-se expostas ao londrino, Londres fica ao alcance dos cidadãos de antes remotas localidades. As notícias, os pontos de vista e debates, de início pelos jornais, posteriormente pelo telégrafo, ganham

¹ USHER, op. cit., p. 300.

dimensão nacional. Este é outro vetor da revolução provocada pela ferrovia, engendrando novos padrões. Talvez se possa afirmar que a nação em toda sua plenitude moderna, efetivamente começa a se conformar com a ferrovia.

Autores de linhagens tão diversas, como Danilevsky, Mathias e Lilley, assinalam a falta de planejamento, causando problemas de ineficiência e ausência de padronização,¹ que por exemplo, dificulta a constituição de uma rede efetivamente integrada com os resultantes problemas de logística. Afora a omissão de que trata-se da constituição de um sistema inédito com um grau de abrangência antes desconhecido, *hoje* sabemos ser este o resultado da operação do padrão concorrencial, sem regulação, de um sistema complexo. Pelas mesmas razões, ocorreram tantas surpresas (maior importância do transporte de passageiros é uma delas), o que também é apontado por diversos autores. A incapacidade de racionalização pelo capitalismo concorrencial, de um mercado fragmentado, tem na centralização uma forma privada de enfrentamento - uma vez amadurecido o setor. Notamos contudo, ser uma superação parcial, pois mantém-se atrelado ao passado. A despeito de tentativas de regulação, apenas em fins do século XIX, mostrou-se o estado capaz de efetivá-la por meio de um *Board* - mostrando como o padrão concorrencial *strictu sensu*, estava entranhado nas práticas inglesas.² Outros elementos indicavam o futuro: a organização burocrática da empresa, o relacionamento íntimo com o sistema financeiro e a clara influência dos ciclos em seu comportamento.

¹ Citando Lilley, a título de ilustração, de quem tomamos a idéia de caos provocado na via Stockton-Darlington: "estes detalhes (dentre os quais o que acabamos de mencionar) foram citados de forma a ilustrar a maneira 'vagarosa' (*sleep-walking*) dos primórdios das ferrovias, com os projetistas falhando completamente no entendimento do que estava se passando." (LILLEY, op. cit., p. 206).

² Registro minha estranheza às críticas acres feitas por estes e outros autores a "desorganização" que foi a revolução industrial em geral. Não por acaso não aventam qualquer hipótese para que assim tenha sido, e quando mencionam a concentração que ocorre no sistema ferroviário, muito menos são capazes de fazer a relação entre esta e a "desorganização".

A ferrovia constituiu-se na última grande onda de liderança inglesa, à exceção do capital financeiro, impulsionando a exportação da metalurgia, produtos ferroviários, projetos e projetistas. A exportação de capitais vai além do rentismo e da exploração colonial, introduzindo o investimento direto.

Por estas razões e mais todas as examinadas anteriormente, entendemos a ferrovia como ápice e síntese da revolução industrial. Portanto, não concordamos com aqueles que sustentam que a ferrovia crie o departamento de bens de produção, ainda que consolide sua estrutura, e que entendem o ciclo ferroviário como uma segunda fase da revolução industrial, praticamente estanque.

CONCLUSÕES

Se nos perguntarmos se a partir de meados do século XVIII, algo de radicalmente novo se passa - minha resposta é um taxativo sim: a inovação, forma básica da concorrência e da dinâmica capitalistas, associação única, e por isto mesmo inédita. Apenas as novas relações sociais de produção, o capitalismo, é capaz de tornar o progresso técnico parte constituinte de seu movimento, e o progresso técnico torna-se incessante, por ser capitalista.

O progresso técnico tem de ser tomado como parte constituinte essencial à compreensão do processo de acumulação durante a revolução industrial. Caso contrário as transformações que então ocorrem tornam-se incompreensíveis, a análise perderá a natureza histórica específica do período e incorrerá em equívocos teóricos e conceituais.

O ritmo do progresso técnico é inédito porque se está face a um novo modo de produção. A concentração de inovações não poderia ocorrer antes - e é de natureza distinta do que se passa depois. Do capitalismo originário, que necessariamente tinha de ser concorrencial, não se pode pedir que tenha atributos assemelhados ao padrão que dele decorre.

São numerosos os capitalistas que investem em busca do aumento de lucro, e tanto por razões técnicas quanto por ser o padrão concorrencial, em vários momentos estão presentes várias alternativas. Nos setores que exigem maior volume de capital, são justamente os grandes capitalistas que investem, e em geral, são os inovadores aqueles cujas firmas mais crescem.

A inovação incremental, isto é, uma seqüência de melhorias que aumenta a eficiência das tecnologias, abre novos mercados e amplia os existentes - essencial à compreensão do caráter cumulativo - só o capitalismo é capaz de engendrar. As relações de interação dinâmica, técnica e econômica, também essenciais à compreensão do período, só assim tornam-se inteligíveis. É por estas razões que mesmo se admitíssemos a existência de longa data de princípios gerais conhecidos, eles só podem se materializar em inovações sob as

citadas condições. Assim, inovação e difusão não são “partes dissociadas” ou esta segue-se àquela como imitação, mas momentos que formam um conjunto único, em que o uso da nova tecnologia é determinante.

A demanda não é uma “variável exógena” que isolada e obrigatoriamente leva à inovação, e mais que tudo, à uma específica inovação. A análise do progresso técnico não pode ser efetuada em termos de oferta e demanda, mas sim como uma interação dinâmica resultante do processo de acumulação.

Conquanto haja uma ruptura, ela é gradual. O processo de transformação sob o capitalismo concorrencial se dá com: taxa de investimento relativamente reduzida; progresso técnico se estendendo por um longo período, revolucionando paulatinamente; baixo grau de concentração. É gradativamente que novas unidades de capital vão invadindo novas áreas e matando as formas tradicionais. Assim, a vitória do novo modo de produção sob a vigência do padrão concorrencial, só pode se dar de forma relativamente lenta - comparativamente ao padrão que lhe segue.

Isto aponta para uma dificuldade sugerida em vários momentos de nossa análise. Estamos frente a um processo de dominação crescente do capital industrial, o D_1 se constitui, no entanto não chega a liderar o processo de transformação durante a revolução industrial. Os sinais são vários. Ainda que o progresso técnico não se estanque a partir dos 1840, há uma relativa estabilidade das condições técnicas. Mesmo o aço e a turbina a vapor, inovações que surgem em fins da década de 60, princípio de 70, é preciso aproximadamente 20 anos para firmarem-se (em boa medida justamente pela necessidade de inovações incrementais). O impulso mais pronunciado da ferrovia é sobre a metalurgia. No entretanto, sem conseqüências significativas sobre suas condições técnicas. Por fim, a comparação com os EUA, mostrou que

a indústria de máquinas-ferramenta inglesa é incapaz de iniciar o movimento que se mostrará dominante, e sugerimos que isto se devia a própria natureza da economia inglesa.

Não entendemos que estas constatações invalidem nossa proposição inicial, embora a qualifiquem. A revolução industrial é capitalista em sentido integral - e só assim ganha pleno significado. É o processo de ascensão do domínio do capital, que só pode se dar pelo capital industrial, e só se completa com a grande indústria.

BIBLIOGRAFIA

- AMES, E.; ROSENBERG, N. The Enfield Arsenal in theory and history, *The Economic Journal*, 78(312), dec 1968, p. 827-42.
- ASHTON, T. S. *A revolução industrial, 1760-1830*, 2ª ed. Lisboa: Publicações Europa-América, s.d.
- BAINES, E. *History of the cotton manufacture in Great Britain*. London, 1835. apud SMELSER, N. J. *Social change in the industrial revolution*. Chicago: The University of Chicago Press, 1959.
- BERG, M. *The age of manufactures and work in Britain*. 2. ed. London: Routledge, 1994.
- BRAUDEL, F. *Civilisation matérielle, économie et capitalisme XV-XVII Siècle*. Paris: Armand Colin, 1979. v. 3.
- BYTHELL, D. *The handloom weavers*. Cambridge: Cambridge University Press, 1969.
- CAMERON, R. *Banking in the early stages of industrialization*. New York: Oxford University Press, 1967.
- CHALONER, W. H. Further light on the invention of the process for smelting iron ore with coke. *Economic History Review*, II(2), 1949, p. 185-88.
- CHAPMAN, S. D. Financial restraints on the growth of firms in the cotton industry, 1790-1850. *Economic History Review*, XXXII(1), 1979, p. 50-69.
- CHAPMAN, S. D. Fixed capital formation in the British cotton industry, 1770-1815. *Economic History Review*, XXIII(2), 1970, p. 235-66.
- CLAPHAM, J. H. *An economic history of modern Britain*. Cambridge: Cambridge University Press, 1959, v. 2
- DANILEVSKY, K. *Historia de la técnica (Siglos XVIII y XIX)*. Buenos Aires: Editorial Lautaro, 1943.
- DAUMAS, M. Precision mechanics. In: SINGER, C. et al. (eds), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v. IV.
- DAVIS, R. English foreign trade, 1770-1774. *Economic History Review*, XV(2), dec 1962, p. 285-303.
- DAVIS, R. The rise of protection in England, 1698-1786. *Economic History Review*, 19 (2), 1966, p. 306-17.
- DEANE, P.; COLE, W. A. *British economic growth, 1688-1959*. Cambridge: Cambridge University Press, 1969.

- DERRY, T. K.; WILLIAMS, T. I. *Historia de la tecnología*. México, D.F.: Siglo Veintiuno, 1987. v. 2 e 3.
- DICKINSON, H. W. The steam engine to 1830. In: SINGER, C. et al. (eds), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v. IV.
- DICKINSON, H. W.; VOWLES, H. P. *James Watt e a revolução industrial*. Londres: Longmans Green, 1944.
- ELLIS, C. H. The development of railway engineering. In: SINGER, C. et al. (eds), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v. V.
- ELLISON, T. *The cotton trade of Great Britain*. London, 1886. apud BYTHELL, D. *The handloom weavers*. Cambridge: Cambridge University Press, 1969.
- EVANS, F.C. Roads, railways and canals, *Technology and Culture*, 22 (1), jan 1981, p. 1-34.
- FERGUSON, E. S. Metallurgical and machine-tools developments, in KRANZEBERG, M. e PURSELL, C.W. (eds), *Technology in western civilization*. Oxford: Oxford University Press, 1967, v. 1, apud CARLSSON, B. The development and use of machine tools in historical perspective, *Journal of Economic Behavior and Organization*, 5(1); mar, 1984, p. 91-114.
- FLEMING, D. Latent heat and the invention of the Watt engine, *Isis*, XLIII, 1952.
- FORBES, R. J. Power to 1850. In: SINGER, C. et al. (eds), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v. IV.
- GATRELL, V. A. C. Labour, power and the size of the firms in the Lancashire cotton in the second quarter of the nineteenth century. *Economic History Review*, XXX(1), 1977, p. 95-139.
- GILBERT, K. R. *Machine-Tools*. In: SINGER, C. et al. (eds), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v. IV.
- HALL, A. R. Engineering and the scientific revolution. *Technology and Culture*, Fall, 1961, p. 333-41.
- HAWKE, G.R. e REED, M.C. Railway investment in the United Kingdom in the nineteenth century, *Journal of Economic History*, 22(2), 1969, p. 269-86
- HOBSBAWM, E. J. *En torno a los orígenes de la revolución industrial*. México, D.F: Siglo Veintiuno Editores, 1971.
- HOBSBAWM, E. J. *Industry and Empire*. The Pelican Economic History of Britain, Harmondsworth: Penguin Books, 1968. v. 3.
- HOBSBAWM, E. J. *Las revoluciones burguesas*. Madrid: Ediciones Labor, 1976, v. 2.

- HYDE, C. K. Technological change in the British wrought iron industry, 1750-1815: A reinterpretation. *Economic History Review*, 27(2), 1974, p. 190-206.
- KENWOOD, A. G. Railway investment in Britain, 1825-1875, *Economica*, xxxii, aug 1965, p. 313-22.
- KLEMM, F. *A history of western technology*. Cambridge: The MIT Press, 1964.
- LANDES, D. S. *The unbound prometheus*. Cambridge: Cambridge University Press, 1972.
- LILLEY, S. Technological revolution and the industrial revolution, 1700-1914. In: CIPOLLA, C. M. (ed.). *The Fontana economic history of Europe*. Glasgow: William Collins Sons, 1973. v.3.
- LLOYD-JONES, R.; LEWIS, M. J. *Manchester on the age of the factory*. London: Croom Helm, 1988.
- LYONS, J. S. Vertical integration in the British cotton industry, 1825-1850: A review. *Journal of Economic History*, XLV(2), jun 1985, p. 190-206.
- MACLEOD, C. Strategies for innovation: the diffusion of new technology in nineteenth-century British industry. *Economic History Review*, XLV(2), 1992, p. 285-307.
- MANN, J. de L. The textile industry: machinery for cotton, flax, wool, 1760-1850. In: SINGER, C. et al. (eds), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v. IV.
- MANSFIELD, E. *The Economics of Technological Change*. New York: W. W. Norton, 1968.
- MANTOUX, P. *La revolución industrial en el siglo XVIII*. Madrid: Aguilar, 1962.
- MARX, K. *Le capital*. Critique de l'économie politique. Paris: Éditions Sociales, 1971.
- MATHIAS, P. *The first industrial nation, an economic history of Britain, 1700-1914*. 2nd. ed. London: Methuen, 1983
- MITCHELL, B. R. The coming of the railways and the United Kingdom economic growth, *Journal of Economic History*, XXIV, 1964, p. 315-36.
- MOKYR, J. *The lever of the riches*, Oxford: Oxford University Press, 1990.
- MOTT, R. A. edited by SINGER, P. *Henry Cort: the great finer*. London: The Metals Society, 1983
- MUSSON, A. E. James Nasmyth and the early growth of mechanical engineering. *Economic History Review*, 10(1), 1957, p. 121-27.
- MUSSON, E. A.; ROBINSON, E. The early growth of steam power. *Economic History Review*, XI (3), apr 1959, p. 418-439.
- MUSSON, E. A; ROBINSON, E. The origins of engineering in the Lancashire. *Journal of Economic History*, XX(2), jun 1960, p. 209-33.

- NAPOLEONI, C. *Lecciones sobre el capítulo sexto (inédito) de Marx*. México, D.F.: Ediciones Era, 1976.
- POLANYI, K. *A grande transformação*. Rio de Janeiro: Campus, 1980.
- RICHARDSON, P. The structure of capital during the industrial revolution revisited: two cases studies from the cotton textile industry. *Economic History Review*, XLII(4), 1989.
- RIDEN, P. The output of the British iron industry before 1870. *Economic History Review*, 30(3), 1977.
- ROBINSON, E. Eighteenth-Century commerce and fashion: Matthew Boulton's marketing techniques. *Economic History Review*, 14(1), aug 1963, p. 363-91.
- ROSENBERG, N. *Inside the black box*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
- ROSENBERG, N. Technological change in the machine tool industry, 1840-1910. *Journal of Economic History*, dec 1963, p. 414-43.
- SAMUEL Compton's census of the cotton industry in 1811. *Economic History Review*, first ser., II (1), jan 1930, p. 107-10.
- SCHERER, F. M. *Innovation and growth: Schumpeterian perspectives*. Cambridge: The MIT Press, 1984.
- SCHUBERT, H. R. Extraction and production of metals: iron and steel. In: SINGER, C. et al. (eds), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v. IV.
- SCHUMPETER, J. A. *Business cycles*. Abridged ed. New York: McGraw-Hill, 1964.
- SCHUMPETER, J. A. *Business Cycles*. Philadelphia: Porcupine Press, reprint 1982 (first ed., 1939). v. I.
- SHANNON, H. A. The coming of general limited liability. In, Carus-Wilson, E.M. (ed.), *Essays in economic history*, v. 1, apud MITCHELL, B. R. The coming of the railways and the United Kingdom economic growth, *Journal of Economic History*, XXIV, 5(1), 1952.
- SINGER, C. et al. (eds), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v IV: The Industrial Revolution, c 1750 to c 1850.
- SMELSER, N. J. *Social change in the industrial revolution*. Chicago: The University of Chicago Press, 1959.
- SMITH, A. *An inquiry into the nature and causes of the Wealth of Nations*. New York, The Modern Library, 1937.
- STOWERS, A. The stationary steam-engine, 1830-1900. In: SINGER, C. et al. (eds), *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1958. v. V.

- TANN, J.; BRECKIN, M. J. The international diffusion of the Watt engine, 1775-1825. *Economic History Review*, 31(4), nov 1978, p. 541-64.
- TYLECOTE, R. F. A history of metallurgy. 2nd ed. London: The Institute of Materials, 1992.
- USHER, A. P. *Historia de las invenciones mecánicas*. México: Fondo de Cultura Económica, 1941.
- VON TUNZELMAN, N. Technology in the early nineteenth century. In: Floud, R. e McCloskey, D. (eds.), *The economic history of Britain since 1700*. 2ª ed. V. I: 1700-1860. Cambridge: Cambridge University Press.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. *The machine that changed the world*. New York: Rawson Associates, 1990.