

Dinâmica capitalista, progresso técnico e a máquina a vapor

*Tiago M. Bevilaqua**

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. A máquina a vapor é um momento privilegiado para a reflexão das relações entre progresso técnico e capitalismo.

Este texto será desenvolvido em três itens. No primeiro, analisaremos por que o capitalismo deve ser entendido quando há dominação do capital industrial e apontaremos algumas propriedades básicas da dinâmica desse sistema. No segundo, faremos um relato do desenvolvimento da máquina a vapor (seus obstáculos, sua longa duração e suas necessidades de capital) e uma análise das figuras que realizaram esse empreendimento. Ainda neste item, acentuamos alguns pontos, tais como inovação "primária" e papel das inovações incrementais, complementaridades técnicas e interação entre aspectos

** Engenheiro e economista, com D.E.S. em Ciências Econômicas pela Universidade de Paris I, Panthéon-Sorbonne, e professor do Instituto de Economia da UNICAMP.*

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.

I

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 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.¹

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, e as cidades-estados são um exemplo, com a existência de longos períodos de estagnação e até mesmo de regressão. Sua capacidade transformadora encontra limites relativamente estreitos, porque, ainda que intervenha

¹ *A exposição será breve. Para uma análise mais detida, remetemos ao texto BEVILAQUA, Tiago M. Constituição e dinâmica do capitalismo. Campinas : UNICAMP/ Instituto de Economia, 1996. Texto didático.*

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 tinham disciplina, nem ritmo impostos externamente. A coordenação de suas tarefas era frouxa, e esses produtores tinham uma independência nada desprezível por terem outras fontes de rendimento, particularmente na agricultura. Ainda que o produtor fosse dependente do comerciante, não havia 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 transfor-

mações 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: ponto de partida com a execução de tarefas como no artesanato; imposição de um volume mínimo de trabalhadores, de capital aplicado e de produção; existência de um objetivo comum, coordenado e imposto a todos os trabalhadores, o que obriga um certo ritmo de trabalho; efetiva separação do controle do processo de produção entre seu coordenador, agora um capitalista, e os trabalhadores; 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; especialização dos 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.²

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 adaptando-se 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 houvesse 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, 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.

² *Estamos aqui trabalhando com os conceitos em sua forma mais abstrata. Os conceitos de manufatura e grande indústria são usados conforme Marx.*

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.³ Essa subordinação se dá em dois níveis: na fábrica propriamente dita, na qual o ritmo de produção depende sobretudo 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”.⁴

Na grande indústria, conforma-se um círculo virtuoso de crescimento, em que, provocado pelo agulhão 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

³ 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 era recém-chegado 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 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.

⁴ 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.

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.

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, rebatendo sobre os preços, e alarga o mercado. 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 – reforçando 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 de visão do mundo predominante, como: queda do poder da tradição e

da religião, indivíduo, liberdade, espírito científico, estado nacional e secular.⁵

A conquista de novos materiais, novos processos de produção e novas formas de energia é uma forma de sintetizar as mudanças das condições técnicas sob o capitalismo. Para isto, nosso olhar recairá sobre a máquina a vapor – momento privilegiado para a análise das questões que acabamos de desenvolver –, por ser uma nova fonte de energia, que permitirá a mecanização (novos processos) e a criação de novas atividades com fortes relações interindustriais, e por ser bem documentada, permitindo ainda analisar algumas questões centrais do processo de inovação.

Cabe antes alertar que na verdade a grande indústria está dando seus primeiros passos no período que analisaremos, qual seja, o último quarto do século XVIII. Também aqui se observa um processo, mais adequadamente chamado de Revolução Industrial.⁶ Isto porque, em nosso entender, nesse período ocorre o primeiro conjunto de mudanças técnicas capaz de gerar um processo interativo-cumulativo. Há um *cluster* de inovações, liderado pelas indústrias têxtil, metalúrgica, mecânica e do carvão, com a máquina a vapor tendo um papel central que, juntamente com as transformações sociais, levará a um processo irreversível, e não mais a um surto, seguido de períodos de estagnação, como ocorrera no passado.

II

Neste 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. Temas aqui desenvolvidos, tais como inovação “primária” e papel das inovações incrementais, complementaridades técnicas e interação entre aspectos econômicos e técnicos, serão retomados no item seguinte, de uma ótica mais analítica.

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

⁵ Devemos acrescentar que não entendemos serem estas transformações meros reflexos, ou mesmo, apenas subordinadas ao desenvolvimento no âmbito econômico. As diversas manifestações humanas, ao contrário, são uma complexa teia de interdependências, portanto não explicáveis exclusivamente pelas usuais relações de causa e efeito.

⁶ Além das mudanças técnicas, o crescimento demográfico é outro fator central na Revolução Industrial.

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 9 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, 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.⁷ Segundo Scherer, algumas características da bomba de Newcomen intrigam Watt, e a mais importante delas é “a inesperada quantidade de vapor consumida”.⁸ Após vários testes, sua 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

⁷ 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.

⁸ SCHERER, F. M. *Innovation and growth: Schumpeterian perspectives*. Cambridge: The MIT Press, 1984. p. 9.

pistão, dada a impossibilidade de fabricação de peças com a necessária precisão, dá uma solução que o cilindro, ao receber vapor e portanto ser aquecido, 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.”⁹

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 não ser por pequenos pontos a resolver, sua “invenção estava completa, no que diz respeito à economia de vapor e combustível.”¹⁰ 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 depois, quando realizados testes propriamente industriais. Após colocar suas economias nesse 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 o desenvolvimento da MV e a voltar a se empregar.

⁹ citado por MANTOUX, P. *La revolución industrial en el siglo XVIII*. Madrid: Aguilar, 1962. p. 308.

¹⁰ 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, sendo corrente na literatura assinalar o princípio do calor latente como tendo papel de relevo no desenvolvimento da MV.

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, em troca de saldar as dívidas que este contraía 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.¹¹

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. Por seu turno, isto permitirá economias de escala e intensa atividade comercial, de maneira que

¹¹ SCHERER, p. 13 e MANTOUX, p. 313.

coloque esta produção, a qual deve ser esmerada, para o mercado, o que faz também que se selecione e treine os operários.¹²

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.”¹³

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 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”,¹⁴ 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 3 mil libras no seu desenvolvimento e que seria necessário pelo menos 10 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

¹² *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 com este núcleo, ainda que não as idéias 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.*

¹³ DERRY, T. K. ; WILLIAMS, T. I. *Historia de la tecnologia. México, D.F. : Siglo Veintiuno, 1987. v. 2, p. 466.*

¹⁴ *Carta de BOULTON a WATT, citado por MANTOUX, p. 314.*

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 a aristocracia, na só a inglesa como a de toda a Europa, deve ter sido de valia na aprovação da prorrogação.¹⁵

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, era preciso também medir a vazão. Depois de fazer medições, Watt desenvolve um instrumento para este fim.¹⁶

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 [...] 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.”¹⁷

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

¹⁵ *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, nesta firma, o levam a uma diversidade e intensidade de contatos com a aristocracia e a burguesia (não apenas inglesa mas européia) 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, p. 51, Aug, 1963.)*

¹⁶ *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.*

¹⁷ *DICKINSON, H. W.; VOWLES, H. P. James Watt e a revolução industrial. Londres: Longmans Green, 1944.*

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 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 (empresário atuante na indústria têxtil, cuja principal inovação foi uma máquina de fição, chamada *water-frame*). 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 10 mil libras estimadas por Roebuck. A título de comparação, um banco londrino possuía à mesma época um capital em torno de 25 mil libras,¹⁸ 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 exemplo, na criação de um tipo de contrato de risco,

¹⁸ CAMERON, R. *Banking in the early stages of industrialization*. New York: Oxford University Press, 1967. p. 33.

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.¹⁹

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 primeiro na Inglaterra a desenvolver um pequeno modelo de locomotiva, 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. Ao mesmo tempo que Watt é extremamente inventivo e capaz de dar as soluções técnicas, é também muito 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 a B&W estaria próxima à saturação. 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, obrigando-o 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.

¹⁹ A solução de um pagamento diário 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. Teriam ainda um efeito benéfico, disseminador entre os subcontratantes, dados, fornecimento de informações e também o nível de exigência de B&W, estabelecendo ainda 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.

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 vêm a ser usados por outras indústrias, particularmente a de 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, estava em operação no fim do século XIX .

III

A partir da história da MV, discutiremos alguns pontos, que entendemos como fundamentais, no que diz respeito à conceitualização 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 como sua disseminação, operamos um corte que do ponto de vista econômico e 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, em 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 invenção do condensador separado, é sugerido que “de repente” surgiu-lhe essa 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 6 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.

Mesmo 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, à exceção do manômetro, não sejam “inovações primárias”, no sentido de usar 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 é que 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 que, por ser ela o ponto de partida, permite (ou não, as histórias de insucesso dificilmente são relatadas) se acumularem inovações incrementais, mas que a cisão é falsa. 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 encontrar soluções, a partir de novos problemas técnicos ou novas necessidades postas pelo uso, forma-se 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, pela qual, a partir da análise do problema apresentado por esta, chega 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 à 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 à 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 que tenha 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 nível limitado, 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, costuma 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 basilarmente incerto, em que se impõem capacitações técnicas e/ou científicas (que vale lembrar têm custos), geralmente 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.²⁰ E 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 considerar tudo isto.²¹

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 percebido. Há que ter clara 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

²⁰ ROSENBERG, N. *Inside the black box. Cambridge : Cambridge University Press, 1982. p. 231.*

²¹ A “introjeção” da inovação, através dos laboratórios de P&D, é outro fator a acentuar no 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?

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.”²²

Essa interpretação de Braudel se insere 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, acaba por concluir que “as mutações e mesmo as descontinuidades do fim do século XVIII se inserem em um *continuum* histórico, a uma só vez, anterior, presente e depois subsequente, um *continuum*, onde as descontinuidades e rupturas perdem suas características de eventos únicos ou decisivos.”²³ Não por acaso lhe é possível concluir que o capitalismo “restou no essencial, semelhante a si mesmo.”²⁴ 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”,²⁵ 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”,²⁶ em Florença no século XVIII. E a operação das multinacionais na década de 70 do nosso século confirma esta continuidade.

²² BRAUDEL, F. *Civilisation matérielle, économie et capitalisme XV-XVII Siècle*. Paris : Armand Colin, 1979. tome 3: *Le temps du monde*, p. 489. 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).

²³ BRAUDEL, p. 465.

²⁴ BRAUDEL, p. 538. Em certa passagem usa a expressão “capitalismo em potência”, grifado no original.

²⁵ BRAUDEL, p. 539.

²⁶ 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." De um só golpe tornam-se transparentes: a impossibilidade de negar o papel das descontinuidades 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 que, 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.

Prossegue observando que a lenta difusão da mecanização na indústria têxtil, a ponto de apenas em 1740 mostrar-se indispensável, 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?²⁷ Outro argumento é que haveria um patamar, determinado pelo consumo *per capita*, a partir do qual se aceleraria a necessidade de 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 não ser por restrições físicas (aceitáveis 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 relembrar que “se a demanda cria a inovação”, afirma “que ela depende do nível de preços”,²⁸ portanto realçando o papel dos preços. Contudo, na indústria metalúrgica, sabe-se que fatores de ordem técnica, seja na pesquisa e lavra de minério, seja por inovações nos processos de produção de ferro (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-

²⁷ Há sólidos argumentos mostrando que diferenciais de salário, o que não pode ser omitido, se dão simultaneamente a diferenciais de produtividade, levando não a um bloqueio da forma mais “moderna”, mas a coexistência de unidades produtivas com distintas condições técnicas, produtividade e salário, ou pode-se dizer, a convivência do “moderno” com o “atrasado”.

²⁸ BRAUDEL, p. 490.

prima, e isto justamente pela fixação na demanda, desprezando não só as inovações incrementais, ainda que neste período parece não terem sido de monta, como sobretudo as interações, sejam elas de natureza econômica ou técnica.

Iniciamos esses comentários do pensamento de Braudel com uma citação que mostra claramente que ele vê condições técnicas e econômicas 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, este 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 vêem como decisivo em vários momentos, e rentabilidade. Enfim, 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 juntar 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, ainda assim, de uma forma que qualificaríamos de retórica. 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.”²⁹ 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.

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.³⁰ A primeira é de que o progresso técnico é uma mera resposta ao aumento da demanda, o qual já vinha ocorrendo e 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.”³¹ Como vários autores que analisam o período, entende-se 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.”³²

A fragilidade de sua tese é desnudada pelo próprio autor, quando ao se perguntar por que as respostas aos desafios vieram sob

²⁹ BRAUDEL, p. 494. Há que estranhar entender a Revolução Industrial como auto-reflexiva.

³⁰ LILLEY, S. *Technological revolution and the industrial revolution, 1700-1914*. In: CIPOLLA, C. M. (ed.). *The Fontana economic history of Europe*. s.l. : William Collins Sons, 1973. v.3.

³¹ LILLEY, p. 213.

³² 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, de movimento a longo prazo.

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 esta idéia 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”,³³ que, após analisar as interações e interdependências, lembra já terem 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.

Em 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 querer ter o lucro” que o mercado tornava transparente, o que significa em 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 se tratasse de capitalistas que estivessem “isolados”, 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 se pode pôr em segundo plano 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 “tradicionalistas” de

³³ LANDES, D. S. *The unbound prometheus*. Cambridge : Cambridge University Press, 1972.

poder ruíram, eliminando as pesadas barreiras à acumulação, como a detenção de riqueza que visa seu aumento é em si mesma um valor. É 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 da inovação, a verem a difusão como processo natural, dependente apenas de uma racionalidade microeconômica, restrita a poucas variáveis, e analisarem as razões da “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, 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*, certamente existiam outros, como manutenção e *performance*, o analista deve tornar-se bastante cauteloso.³⁴ 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 concorrência entre tecnologias (novas e antigas) 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,³⁵ apuraram um total de 110 máquinas exportadas por B&W no período 1778-1825, sendo apenas

³⁴ WATT JR., em carta de 1790, afirma que uma máquina de um concorrente com força de 4 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. 11, p. 423, 1958). 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, sendo 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, portanto, não levando em consideração as variáveis que mais claramente deveriam influenciar a decisão.

³⁵ 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.

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, pelo fato de a Alemanha (um daqueles países) já em 1790 ter produção própria, com liderança cabendo a três empresas estatais, acreditamos deve levar a não se pensar em cortes abruptos.

Praticamente a totalidade dos autores afirma que uma vez expirada a principal patente em 1800, a do condensador separado, acelera-se a difusão da MV. Já em 1780, Hornblower desenvolvera 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. 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 de máquinas pirateadas, isto é, com tecnologia copiada de B&W, e provavelmente até em maior quantidade para a indústria têxtil – já estava completamente apta a produzir MV do tipo B&W, com todas as instalações, projetos e até mesmo fornecedores, um pouco antes de expirar a patente.

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. Esta máquina vai receber constantes melhorias e a publicação regular de estatísticas de rendimento,

por parte das minerações da Cornualha, certamente teve um efeito benéfico sobre o aumento de sua eficiência. Em 1844, essas máquinas apresentavam um rendimento 11 vezes superior às de Newcomen usadas em 1767. Além dos usos tradicionais para bombeamento e serviços de água, eram usadas por várias indústrias, valendo destacar a metalurgia, moinhos de cereais e usinas de açúcar. Vale lembrar que a B&W em 25 anos havia fabricado 486 máquinas, ampliando substancialmente seu uso em relação à máquina de Newcomen, e deste total apenas 1/3 era usado para bombeamento de água.

IV

Nesta altura é válido fazer uma síntese e tirar algumas conclusões.

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 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 com importante relacionamento social, 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, permitindo-lhe financiar o desenvolvimento da máquina. Já os primeiros inovadores da indústria têxtil eram um barbeiro e comerciante de cabelo, um tecelão e carpinteiro e um fazendeiro e tecelão.

A relação da MV com a indústria carvoeira é da maior impotência e serve para ilustrar fortes relações interativas dinâmicas.³⁶ A extração do carvão havia recebido grande estímulo proveniente do aumento da demanda de serviços públicos e de seu uso na metalurgia em substituição à madeira (que se tornara escassa na Inglaterra, de forma mais acentuada em meados do século XVIII). 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 e ampla disponibilidade de um sistema de navegação marítimo e fluvial (canais

³⁶ Os mesmos tipos de relações se observam com a metalurgia.

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 a sua demanda aumenta, quanto técnico (por exemplo permitindo a extração a profundidades maiores).

Outro setor que se beneficia é o de transportes, tanto marítimo quanto terrestre. A MV virá permitir o surgimento das locomotivas, que em meados 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) e internacionais, e exigirá novas formas de financiamento, sobretudo a difusão do sistema acionário, que era praticamente restrito ao sistema financeiro, o que, por seu turno, provocará mudanças na forma de organizar as empresas.³⁷

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

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 efeitos para trás (exigindo o desenvolvimento de outras atividades) e para a frente (impulsionando o desenvolvimento de outras atividades ou das mesmas), um dinamismo 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.

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

³⁷ Não deve ser esquecido que em muitos países, inclusive no Brasil, foram os capitais e a indústria inglesa que impulsionaram o transporte ferroviário. O financiamento através do lançamento de ações, que veio a tornar as bolsas de valores um veículo importante para a centralização do capital, imprescindível para projetos de grande porte financiados de forma privada, provocou uma febre especulativa sem precedentes.

Seu processo de desenvolvimento se dá em uma longa caminhada, em que idéias para a superação de limites ou dificuldades colocadas apresentam novas dificuldades, que para suas soluções exigem diversas contribuições em termos de pessoas, empresas e setores industriais. 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 por 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 (com o que poderemos avaliar os chamados efeitos para trás). 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 máquina em “sentido integral”, na medida em que opera automaticamente por meio de mecanismos que independem da ação humana direta, constituindo desta forma, a primeira máquina “típica” do capitalismo. Libera definitivamente a produção industrial da força humana. 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 desse 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 ser, e comumente o é, precedido por algum evento desta natureza. Não é um rompimento de um só golpe, mas uma multitude de mudanças, relativamente pequena se olhada de *per si*, que provoca uma transformação de caráter qualitativo. Não há um fato singular, original, um momento de ruptura, mas um processo que, inclusive para ser “sólido”, exige o transcurso de um período de tempo relativamente considerável.³⁸

Há uma tendência a considerar fáceis as mudanças das condições técnicas que se dão no período analisado e, apenas para lembrar, dois autores (Hobsbawn 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, mesmo no caso da MV, Lilley afirma que “estas eram invenções ‘fáceis’ de serem realizadas, no sentido que não requeriam nenhuma qualificação especial nem treinamento. Podiam ser feitas por qualquer homem inteligente que tivesse suficiente entusiasmo e visão comercial.”³⁹

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 no meio 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

³⁸ 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.

³⁹ LILLEY, p. 194.

progresso técnico sejam de fato tênues no período, e conforme mostrado por Hall, devido a um desenvolvimento insuficiente dos novos materiais,⁴⁰ portanto do conhecimento técnico, pode-se afirmar que o século XIX inaugura a introdução da mensuração sistemática na produção. A importância dos instrumentos de mensuração, que estão intimamente relacionados à ciência, mas também ao relógio, 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 para verificar e saber 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 chamado espírito científico não tivesse invadido o sistema produtivo, não nos parece imaginável que tudo isto pudesse ocorrer.

Nas conclusões de cunho estritamente analítico, seremos breves, pois já foram mais desenvolvidas no item III.

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, por seu turno, correm o risco de caírem em alguma forma de determinismo) e, pior que tudo, sem uma fundamentação teórica. Por essas razões, torna-se arbitrária, já que não há uma “lógica” que oriente a escolha de critérios, ficando 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 século XVIII, dadas as transformações qualitativas se acentuarem significativamente, ou melhor seria dizer que a descontinuidade é do segundo quarto do século XIX, quando de fato começam a existir máquinas-ferramenta, 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 nesse período, as quais estariam em uma fase preparatória, e reconhece terem ocorrido casos de sucessos, mas desprovidos de

⁴⁰ HALL, A. R. *Engineering and the scientific revolution. Technology and Culture*, Fall, 1961.

importância.⁴¹ 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. Coerentemente, 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 essas, se são impróprias para um estudo de natureza histórica, podem ser aceitáveis, como o foco sobre o mercado, para um estudo com outros objetivos, no caso de caráter microeconômico.

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”.

⁴¹ SCHUMPETER, J. A. *Business cycles. Abridged ed.* New York : McGraw-Hill, 1964. p. 183.