

UNIVERSIDADE/FACULDADE/CENTRO/INSTITUTO: Universidade Federal de Santa Catarina/Centro Sócio Econômico/Programa de Pós-graduação em Economia

BLOCO TEMÁTICO: Ciência e Tecnologia - 5. Las direcciones magistrales del desarrollo científico y tecnológico mundial. Opciones y dificultades.

TÍTULO DO TRABALHO: A CIÊNCIA NO SISTEMA DE LABORATÓRIO: A DIREÇÃO DETERMINANTE DE SEU PROCESSO PRODUTIVO COMO AFIRMAÇÃO, NEGAÇÃO E SUPERAÇÃO DO CAPITAL

AUTORES: Samya Campana (Professora de Economia, Mestre em Economia pela UFSC (2006) na área Transformações do Capitalismo Contemporâneo) e Idaletto Malvezzi Aued (Professor titular do Programa de Pós-Graduação em Geografia e do dpto. de Economia (UFSC), Pós-doutor pela UNESP (2005), Doutor em Geografia Humana pela USP (1996)

E-MAIL DOS AUTORES: samyacampana@gmail.com e idaletto@cse.ufsc.br

PALAVRAS-CHAVE: Ciência, Processo produtivo, Capital

PALABRAS-LLAVES: Ciencia, Proceso productivo, Capital

Partindo da idéia de Karl Marx que enfatiza os resultados do desenvolvimento das forças produtivas sociais, a saber, a) a concentração em poucas mãos dos meios de produção, patenteando-se como fatores de produção social e, antes de mais nada, propriedade dos capitalistas, e b) a organização do próprio trabalho como trabalho social, por meio da cooperação, da divisão do trabalho e da vinculação do trabalho como resultados do domínio social sobre as forças naturais, buscamos onde e como tal processo empírico se configura atualmente, de que modo se exprime, quais são as condições materiais de sua produção, qual é, por fim, *o grau mais avançado* ou essencialmente determinante da sociedade, do desenvolvimento das forças produtivas sociais. Nossa hipótese é a de que as *condições materiais da produção* são atualmente determinadas pelos “homens da ciência”, por sua *razão*, por suas necessidades, forças produtivas e matérias-primas de sua produção bem como as relações entre os homens que sobressaem de todas essas condições de existência. Embasamo-nos na obra de K. Marx, principalmente em *Ideologia Alemã*, *Manuscritos Econômico-filosóficos*, *Grundrisse* e *O Capital*, partindo da matriz interpretativa de Idaletto Malvezzi Aued, pois à luz do tempo atual. Para tanto, utilizamos a interpretação teórico-metodológica (evidenciada nos capítulos XI, XII e XIII de *O Capital*, livro 1) da decomposição-composição histórica, pelos homens, dos elementos essenciais do processo de trabalho. Consideramos a cooperação, a manufatura e a grande indústria como momentos históricos do desenvolvimento das forças produtivas sociais, da materialização do *ser social*, ou, ainda, *da produção da existência coletivamente*, isto é, do fato de os homens produzirem sua existência transformando-se em homens em si e para si. Nesse sentido apreendemos *o mais alto grau de desenvolvimento das forças produtivas sociais: o sistema de laboratório* (entendido comumente por “laboratório de pesquisa básica”), a partir do que atualmente se exprime como “nanotecnologia”. Considerando a dificuldade de literatura analítica sobre as nanotecnologias, buscamos dados secundários na internet e em algumas revistas e livros especializados. A ciência, atualmente, vista como decomposição da matéria mesma (DNA, átomos, moléculas, etc), não é a decomposição do *objeto de trabalho em si e para si*? Não se origina da decomposição dos instrumentos de trabalho, realizado pela grande indústria, cujo ponto de partida é a máquina? Se decompusermos as nanotecnologias, onde chegaremos? Para responder a essas perguntas, o artigo está organizado em quatro itens. Admitimos que o ponto de partida que revoluciona o modo de produção é o *objeto a que se aplica o trabalho, entendido como ato humano teleológico e histórico* (sendo importante mostrarmos a decomposição dessa materialização originando-a historicamente). Sendo assim, evidenciamos *o que os homens produzem (com que meios fazem)* fundamentando historicamente, no item 1, como que o objeto a que se aplica o trabalho a) é transformado, primeiro, mediante a impressão da *forma exterior adequada à matéria* utilizada e como, b) num segundo momento, é transformado mediante a *alteração da estrutura interna da matéria*. No item 2, construímos as origens da *máquina-ferramenta-automática de precisão quântica*. No item 3, mostramos que a interação entre as várias áreas da ciência se distingue de duas maneiras: o sistema de

máquinas automáticas, sintetizado num só aparelho, e a interação de múltiplos sistemas de máquinas automáticas, materializada nos vários aparelhos que atuam conjuntamente acrescidas as habilidades dos homens para, telelogicamente, decomporem partículas quânticas. No item 4 discutimos a superação do próprio *sistema de laboratório*, a partir do elemento que ele mesmo engendra: a *nanomáquina auto-reprodutora*.

1. A ESTRUTURA DO SISTEMA DE LABORATÓRIO: EM BUSCA DA TRANSCENDÊNCIA DA SOCIABILIDADE DA UNIÃO ENTRE OS HOMENS

É quase impossível encontrar algum tipo de trabalho científico em física ou química - da física do átomo à química orgânica estrutural - que mais cedo ou mais tarde não vá ter aplicações e importância direta para as indústrias. Trabalhos de pesquisa fundamental como esses requerem laboratórios diferentes dos laboratórios usuais de trabalho e pesquisadores diferentes daqueles empregados num laboratório puramente industrial. Significam um laboratório grande, equipado com esmero e com equipe de peso, empenhada por muitos anos em trabalho que não trará remuneração e que, por um tempo considerável, não chegará a nenhum resultado que possa ser aplicado pelo fabricante. **O valor de tal laboratório será cumulativo, à medida que o trabalho continua. A princípio, ele será útil para a indústria por trazer novos pontos de vista sobre muitos dos seus problemas.** (Mees, 1920)

Nada de lo que fabricamos los humanos puede prescindir de los descubrimientos que se hacen hoy en los laboratorios. Las consecuencias a largo plazo de la nanotecnología serán verdaderamente transformadoras, el problema es que no se pueden predecir los detalles de esa transformación del mundo. (Thomas Theis, jefe de investigación de la corporación IBM)

O emprego do *sistema de laboratório* por parte do capital, assim como o emprego do *laboratório* (agregado a um sistema de produção orgânico de máquinas), como qualquer outro desenvolvimento da força produtiva, “tem por fim baratear as mercadorias, encurtar a parte do dia de trabalho da qual precisa o trabalhador para si mesmo, para ampliar a outra parte que ele dá gratuitamente ao capitalista”. Nesta linha, o *sistema de laboratório serve para que se produza mais-valia*, ao mesmo tempo que é um meio civilizado de desenvolvimento humano. Assim, sem surpresa, “revela-se, de um lado, progresso histórico e fator necessário do desenvolvimento econômico da sociedade e, de outro, meio civilizado e refinado de exploração” (Marx, 1989, p.325, 1996, p.417-418).

Quais são os elementos que constituem essa base material configurando as forças produtivas atualmente? É preciso considerar o significado de *o que os homens produzem*.¹ Seguindo o raciocínio de Marx (1996, p.424), segundo o qual “na manufatura, o ponto de partida para revolucionar o modo de produção é a força de trabalho, na indústria moderna, o instrumental de trabalho”, inferimos que, no *sistema de laboratório*, o ponto de partida que revoluciona o modo de produção é o *objeto a que se aplica o trabalho*, bem como o caráter teleológico desse ato histórico. Se a manufatura produz a decomposição do trabalho artesanal, e a maquinaria a decomposição dos meios de produção, pesquisaremos como o *sistema de laboratório* produz a decomposição do objeto sobre o qual se trabalha. Portanto, convém investigar como o *objeto a que se aplica o trabalho* a) é transformado, primeiro, mediante a *impressão da forma exterior* adequada à matéria utilizada e como, b) num segundo momento, é transformado mediante a *alteração da estrutura interna da matéria*.

A previsão de Richard Feynman, feita em 1959, de que seria possível colocar todo o conteúdo da Enciclopédia Britânica no espaço de uma cabeça de alfinete não propôs discutir o *como fazer*, mas o que era possível de acordo com as leis da física; tampouco imaginou a revolução do século XXI com os princípios da mecânica clássica, a partir dos quais o processo de produção constitui operações que visam imprimir *uma forma exterior adequada à matéria utilizada*. Seu artigo sugere a produção com base no

¹ Cf. a releitura de Marx (1993, 1989) sobre o assunto em Campana (2006) e Aued (1999, 2005, 2005a, 2005b).

reordenamento de átomos e moléculas², procedimento que envolve parâmetros quânticos (Feynman, 1959)³.

*Hoje os homens produzem mediante a nanociência, que consiste em ciências e técnicas dirigidas a) ao estudo, desenho, criação, síntese, manipulação e aplicação de materiais, aparatos e sistemas funcionais através do controle da matéria à nano escala⁴ e b) à exploração de fenômenos e propriedades da matéria à nano escala, que se demonstram totalmente novos.*⁵ Quando se fala de pesquisas envolvendo nanotecnologia, geralmente se distinguem os objetos de estudo, as técnicas utilizadas e os diferentes produtos que serão gerados (nanomagnetismo, metais ultrafinos, drogas nanocristalinas, nanofibras poliméricas e outros). Essas pesquisas agregam práticas e métodos não somente das várias áreas das ciências naturais, mas também das ciências formais. Em função disso, existe uma diversidade de idéias sobre o que é o fazer científico nos diferentes campos da nanotecnologia, reflexo do próprio modo de fazer ciência nas diferentes áreas.⁶

As técnicas (procedimentos, processos, equipamentos e instrumentos) das várias áreas da ciência permitem três abordagens distintas para as nanotecnologias: a) abordagem, de cima para baixo, que

² “O átomo é um conjunto de matéria constituído de um núcleo carregado positivamente e de elétrons em número suficiente para equilibrar a carga positiva do núcleo constituído de nêutrons e de prótons”. “Uma molécula é a menor parte indivisa de um composto químico e que possui um conjunto único de propriedades químicas. A molécula é constituída de dois ou mais átomos ligados quimicamente” (Wikipedia, “Química”, 2005)

³ A física quântica trata do universo do muito pequeno, dos átomos e das partículas que compõem os átomos; a física clássica trata dos objetos que encontramos no nosso dia-a-dia; e a física relativística trata de situações que envolvem grandes quantidades de matéria e energia (Wikipedia, 2005).

⁴ “Nano, que significa ‘anão’ em grego, quer dizer também um bilionésimo. Um nanômetro (1 nm), por exemplo corresponde a um bilionésimo (10^{-9}) do metro e um nanosegundo corresponde a um bilionésimo do segundo. O diâmetro de um átomo é cerca de 0,2 nm enquanto o de um fio de cabelo é de aproximadamente 50.000 nm. Já as dimensões típicas de um vírus se encontram na faixa de 5 a 100 nm. O nanomundo abrange desde átomos a objetos com cerca de 100 nm. Esse é o universo da nanociência e da nanotecnologia”. (Valadares, 2005, p.vii)

⁵ Ver site: www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia (acesso em 12/07/2005). Conforme Valadares (2005) “um ponto importante no qual se baseia a Nanotecnologia é o fato de que o tamanho de um objeto afeta as suas propriedades quando se atinge a escala nanométrica (10^{-9} m). Um pequeno cubo de ferro ilustra bem o que acontece quando é subdividido sucessivamente, gerando blocos cada vez menores. O cubo original apresenta propriedades específicas do elemento ferro: ponto de fusão, cor característica, imantação (transforma-se em imã permanente na presença de um campo magnético), etc. Enquanto as dimensões dos pequenos cubos se encontrarem fora da escala nanométrica, as suas propriedades físicas não dependem tanto do tamanho dos blocos. Embora os cubos deixem de ser visíveis quando o seu lado fica menor que um décimo de milímetro, ainda assim podemos observá-lo com um microscópio óptico e verificar que eles apresentam as propriedades usuais do ferro. [...] Quando os cubos atingem a escala nanométrica, mudanças drásticas começam a ocorrer. Os nanoblocos fundem-se a temperaturas mais baixas e deixam de formar imãs, entre várias outras alterações dependentes do tamanho dos cubos” (Valadares, 2005, p.52).

⁶ “Neste século, muitos pesquisadores ainda fazem ciência a partir do paradigma clássico. A nanotecnologia, por exemplo, avança em algumas direções, mas ainda permanece em parte presa ao pensamento clássico quando o assunto é a racionalidade científica e a fragmentação do conhecimento. Ainda existe a idéia da ciência como produtora de uma verdade única e esta idéia ainda orienta a produção de conhecimentos no campo científico, comenta Condé [Mauro Lúcio Leitão Condé, prof. do Curso de Especialização em História da Ciência na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (N.A)]. Porém, a maioria dos cientistas que trabalha com a matemática, por exemplo, pensa a ciência como a busca por uma verdade pontual, a busca pela resposta a certas perguntas, diz o pesquisador. [...] [Entretanto] a coexistência de pesquisas que se orientam por múltiplos paradigmas da ciência - que marcaram os séculos XVII, XIX e XX - é uma marca da produção científica multidisciplinar, como a nanotecnológica. Walter Carnielli, diretor do Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência (CLE), da Unicamp, comenta que “isso não é um problema, não é errado a coexistência dos múltiplos paradigmas dentro da mesma comunidade científica, mas é preciso perceber que existem diferenças que têm que ser reconhecidas”. A nanotecnologia agrega práticas e métodos das ciências naturais e das ciências formais. As ciências formais independem do empirismo, de laboratórios, de experimentação, diferenciando-se das ciências naturais porque lidam com problemas que “existem apenas na cabeça dos cientistas, não têm substância, não se alimentam, são feitos apenas de hipóteses e de suas conseqüências”, comenta Carnielli. Os sistemas computacionais e os softwares são produtos bastante interessantes das ciências formais. Recentemente, a filosofia tem se dedicado a estudar os problemas que emergem das ciências formais e que envolvem, entre outras áreas, a matemática, as ciências cognitivas, a semiótica, a semiologia e a lógica. (Revista ComCiência, 2002).

consiste na construção de dispositivos por desbaste de materiais macroscópicos; b) construção de dispositivos que se formam espontaneamente a partir de componentes moleculares e c) manipulação de materiais átomo a átomo. A primeira abordagem é a utilizada em microeletrônica para produzir *chips* de computadores e mais recentemente para produzir testes clínicos em miniatura. A segunda abordagem recorre às técnicas de química e das ciências dos materiais. A terceira é a que requer um controle fino da matéria.⁷

A primeira abordagem, oriunda da eletrônica, um dos ramos da física, estuda os fenômenos das cargas elétricas elementares, as propriedades e o comportamento dos elétrons, fótons, partículas elementares e ondas eletromagnéticas. Em geral desenvolve e estuda os circuitos eletrônicos e os seus componentes: o diodo, o transistor, o circuito integrado, a fotocélula, os microcircuitos, memória eletrônica, os microprocessadores, capacitores, indutores, resistores, entre outros. Chama atenção que há pouco mais de cinquenta anos a maioria dos instrumentos eletrônicos ainda funcionava com válvulas termiônicas, parecidas com lâmpadas, geralmente barulhentas e problemáticas.⁸

A segunda abordagem, advinda da química, envolve o estudo das *transformações da matéria* em oposição à física, que é o estudo de seus estados. A química é, pois, a ciência que trata das substâncias da natureza, dos elementos que a constituem, de suas características, de suas propriedades combinatórias, de processos de obtenção, de suas aplicações e de sua identificação. Descreve a maneira como os elementos se juntam e reagem entre si e a energia desprendida ou absorvida durante essas transformações.⁹

No que diz respeito à terceira abordagem, a visualização e manipulação de átomos já é possível desde que Binnig e Rohrer (Prêmio Nobel, 1986) inventaram técnicas de varredura de sonda.¹⁰

Os cientistas agora estão preocupados em saber como se comporta uma única molécula, como um elétron passa através dela e como construir um dispositivo eletrônico que movimenta um único elétron para armazenar informações e fazer computação” [sublinhado nosso] (Toma, 2005).

As duas primeiras abordagens, historicamente, se desenvolveram diante da necessidade da decomposição histórica do conhecimento a respeito das forças motrizes e das formas de transmissão (hoje formas já independentes, inteiramente livres dos limites da força humana) as quais conjuntamente transmitem movimento à máquina-ferramenta-automática que se apodera do objeto do ponto de vista atômico e/ou molecular e o altera de acordo com o fim desejado. É desse último elemento da produção automatizada, ou seja, a máquina-ferramenta-automática que age no objeto atômica/molecularmente, que parte a terceira abordagem, a essência da revolução científica iniciada em fins do século XIX. E essa máquina-ferramenta-automática continua a servir de ponto de partida sempre que se trata de transformar (aufhebung) o processo por inteiro - que em si mesmo já é examinado objetivamente - e suas fases componentes, levando a cabo cada um dos processos parciais e os entrelaçando por meio da ciência, isto é, do general intellect, do produto do desenvolvimento histórico geral em sua quinta-essência abstrata.

2. A MÁQUINA-FERRAMENTA AUTOMÁTICA DE PRECISÃO QUÂNTICA

Os procedimentos, processos, equipamentos e instrumentos com que trabalhavam o técnico-mecânico da manufatura e o engenheiro da grande indústria moderna (à época de Marx) reaparecem na *máquina-ferramenta-automática de precisão quântica* de modo muito geral, embora muitas vezes de forma modificada¹¹, pois essa não é norteadada à *forma exterior do objeto* (processo constituído por

⁷ Wikipedia, “Nanotecnologia”, 2005.

⁸ *Ibid.* “Eletrônica”, 2005.

⁹ *Ibid.* “Química”, 2005.

¹⁰ O microscópio de varredura por efeito túnel (*Scanning Tunnelling Microscope*, ou SIM), a ferramenta fundamental para a entrada no pequeno mundo, foi “criado” em 1981 pela equipe do laboratório da IBM em Zurique, na Suíça (Cardoso, 2005).

¹¹ Às vezes a máquina (por inteiro) da produção automática de precisão atômica e/ou molecular é uma edição mais ou menos modificada da máquina de produção mecânica, como ocorre com o microscópio - por exemplo, na forma do microscópio eletrônico de escaneamento (ou transmissão) reconhece-se o microscópio mecânico. Já a forma moderna (o microscópio de precisão atômica e/ou molecular) apresenta modificações substanciais. Outras vezes os princípios clássicos (ou física aplicada)

operações que visam imprimir uma forma exterior adequada à matéria utilizada através de princípios clássicos), mas à *forma interior do objeto*: o processo, comportando uma explicação quântica, é feito de operações que visam a *alteração da estrutura interna da matéria*. O *fazer atômico e molecular*, em si, não comporta somente a explicação dos princípios clássicos, mas, essencialmente, dos princípios quânticos.

A diferença entre a máquina-ferramenta-automática que comporta a explicação clássica (altera a forma exterior do objeto) e o corpo da máquina-ferramenta-automática que comporta a explicação quântica (altera a forma interior do objeto), na qual a primeira se engasta, vem da construção originária.

A primeira ainda é produzida pela cooperação de muitas máquinas e/ou pelo *sistema orgânico de máquinas* e, algumas partes, por um sistema manufatureiro, os quais comportam os princípios clássicos, sendo depois associada ao corpo da máquina-ferramenta-automática de precisão atômica e/ou molecular.

A segunda, por sua vez, é essencialmente oriunda de uma produção automatizada que comporta a explicação de princípios quânticos: *é um sistema que, ao lhe ser transmitidas força motriz e transmissão apropriadas, age, baseado em princípios quânticos, sobre o objeto, a partir do conhecimento de sua estrutura atômica/molecular* - o que antes, e dentro do limite de não se conhecer a *estrutura interna da matéria*, era realizado pela incursão da máquina automática embasada em princípios clássicos.¹² O fato de a força motriz (ou mesmo as partes componentes de transmissão) prover de outra máquina automática cujos princípios firmados sejam os clássicos não muda a essência desse processo produtivo. Quando a produção automatizada, baseada nos princípios clássicos, *incide sobre a forma exterior do objeto* (a ponto de evidenciar seus limites em explicar os elementos componentes da matéria constitutivos ao objeto), os princípios quânticos tomam o lugar dos princípios clássicos. A diferença quanto ao modo de agir no objeto salta aos olhos, mesmo quando a produção da força motriz e da transmissão - tanto no sentido da força motriz para a máquina-ferramenta-automática como no sentido desta última em relação ao objeto - opera mediante os princípios clássicos. A partir desse momento, independentemente do avanço dos princípios clássicos (por exemplo, do número e qualidade-velocidade de máquina-ferramenta-automática que opera o objeto), o raio de sua ação passa a ser limitado, pois se visa sempre a forma exterior do objeto. *Desse modo, o fazer atômico e/ou molecular sobre o objeto, que comporta princípios quânticos, se emancipa da barreira orgânica que a máquina-ferramenta-automática de transformação da forma exterior do objeto, de incursão clássica, não podia ultrapassar.*

A máquina-ferramenta-automática que materializa a explicação de princípios quânticos põe em evidência a distinção que há entre duas funções da máquina automática norteadas pela explicação de princípios clássicos a) função de operar a forma exterior do objeto e b) função de força motriz e forma de transmissão.

A explicação por meio de princípios quânticos inicialmente se expressou nessa primeira função do sistema automatizado. Por sua vez, a relacionada aos princípios clássicos passou a se expressar mediante o aprimoramento da função automática relacionada à força motriz e à transmissão (ao lado do trabalho de vigiar a máquina e corrigir seus erros por meio de outras máquinas e/ou ainda das próprias mãos humanas). Por outro lado, a decomposição dessa segunda parte do sistema automatizado - as máquinas motrizes e os meios de transmissão -, pelo laboratório, deu origem a novos conhecimentos.¹³ Assim,

que movimentam os órgãos ativos implantados na armação da máquina-ferramenta automática de precisão atômica e/ou molecular já são conhecidos, como a mecânica, a termodinâmica, eletromagnetismo, ondulatória, ótica e acústica.

¹² “Os princípios da física [clássica], tanto quanto podemos perceber, não implicam na impossibilidade de manipular coisas átomo por átomo. Não se trata de uma tentativa de violar quaisquer leis”. (Feynman, 1959, p.12)

¹³ “Todos os fenômenos descobertos pelo desenvolvimento das novas técnicas durante o século XIX no campo do eletromagnetismo e da eletrodinâmica não eram pensados como fenômenos pertencentes a um novo ramo, isto é, que precisassem modificar a mecânica; [...] [pensava-se] que podiam ser explicados com a introdução de novas técnicas microscópicas no estágio substancialístico e, de fato, muitos fenômenos foram resolvidos dessa maneira” (Barreto, sd/b). Na segunda metade do século XIX à medida que a mecânica, a teoria eletromagnética e a termodinâmica iam sendo relacionadas (pois eram desenvolvidas de modo independente) através da matéria microscópica, que era uma nova descoberta, foi surgindo uma ciência chamada Física, com uma imagem bastante clara. “Todavia, desde o final do século XIX, começaram a surgir novas dificuldades. Quando as pesquisas das matérias microscópicas já estavam adiantadas e suas propriedades quantitativas

apesar de as máquinas motrizes a vapor terem se transformado em máquinas motrizes elétricas, já em parte no final do século XIX e inclusive antes, ainda que esporadicamente, não foi isso por si mesmo que revolucionou o modo de produção. Posteriormente isso se tornou evidente quando, mais tarde, mesmo na sua forma inteiramente automatizada, essas máquinas (em vez de acionadas pelo vapor das caldeiras de máquinas térmicas em função da queima do carvão) passaram a ser acionadas por máquinas elétricas (geradores) impulsionadas pela queima de derivados do petróleo e turbinas a vapor. Foi somente a utilização do petróleo como combustível que permitiu a humanização desse invento (a máquina elétrica) e seus efeitos nada desprezíveis (apesar de não chegarem a ser *revolucionários*), possibilitando obter energia elétrica em grandes quantidades, pois a combustão de derivados do petróleo tem alto poder calorífico¹⁴. A própria descoberta da corrente e da bateria elétricas (por Volta, em 1800), considerando-se os 70 anos que se seguiram à invenção, não provocou nenhuma *revolução industrial*.¹⁵

Ao contrário, foi a construção de um sistema automatizado de máquina-ferramenta-automática que “fazia fenômenos” que não eram explicados pela física clássica que tornou necessária e possível uma revolução nas forças motrizes e nas formas de transmissão - ocasionando, inclusive, um novo conceito de fábrica (taylorista-fordista). Somente assim se explica o salto da física clássica para a física quântica como determinação essencial da forma como os homens produzem a existência, bem como a reconfiguração (transformação) da primeira pela segunda.¹⁶ Quando os princípios clássicos passaram a atuar apenas como força motriz e transmissão no sistema de máquinas, deixando de atuar junto da máquina-ferramenta-automática que atua sobre o objeto - visto que a transformação exterior do objeto já tinha alcançado seu limite histórico -, os princípios quânticos tomaram seu lugar. Essa mudança dá origem a

bem esclarecidas e, portanto, a introdução de outras matérias microscópicas novas era difícil - a matéria microscópica não foi ‘descoberta’ em virtude de um fenômeno, mas foi sendo ‘gradativamente descoberta’ para explicar muitos fenômenos globalmente: por isso, a introdução apressada de outra matéria nova para explicar um só fenômeno novo é dificultosa, exceto no caso em que isso não venha a influenciar absolutamente outros fenômenos e for estritamente necessário na explicação desse fenômeno em particular -, descobriram-se outros [fenômenos] que não podiam mais ser resolvidos, embora introduzissem outros tipos de novas matérias microscópicas” (Op.cit.).

¹⁴ Compare o poder calorífico de alguns combustíveis (Estação Ciência, 2005, p.3):

Combustível	Poder calorífico (em kJ/Kg)	Combustível	Poder calorífico (em kJ/Kg)
1)Gás liquefeito de petróleo	49030	5)Carvão	28424
2)Gasolina isenta de álcool	46900	6)Lenha	10550
3)Gasolina com 20% de álcool	40546	7)Álcool combustível	27200
4)Óleo diesel	44851		

“O petróleo já era conhecido desde a Idade Antiga, mas era pouco utilizado como combustível, pois o homem não sabia como extrair-lo do solo. Por volta de 1860 o petróleo passou a ser explorado comercialmente, com a perfuração dos primeiros poços na Califórnia, Estados Unidos. A iluminação pública começou a ser feita com lâmpões a petróleo, em substituição aos de óleo animal” (Estação Ciência, 2005, p.2). Quanto à iluminação elétrica, esta “só foi possível quando o homem aprendeu a produzir energia elétrica em larga escala. Durante o século XIX muitos estudos foram realizados visando a transformação da energia mecânica em elétrica. A invenção do gerador de eletricidade, isto é, um gerador que transforma energia de movimento (mecânica) em elétrica, e a invenção da turbina hidráulica, tornou possível obter-se energia elétrica em grande quantidade. O petróleo passou a ser queimado para produzir imensas quantidades de vapor d’água para movimentar turbinas hidráulicas” (Ibid.).

¹⁵ Diferentemente de Watt, que descreveu em 1784 sua máquina a vapor (a máquina rotativa de ação dupla, um motor que produzia sua própria força motriz consumindo água e carvão com potência inteiramente controlável) como agente geral da indústria mecanizada (Marx, 1996), “no terceiro quartel do século passado [a referência de Wiener é o século XX] quando o motor elétrico foi pela primeira vez utilizado na indústria, supôs-se, a princípio, que não fosse mais que um recurso alternativo para pôr em execução as técnicas industriais existentes. Não se previa, provavelmente, que seu efeito final fosse o de dar origem a um novo conceito de fábrica” (Wiener, 1954, p.142). Nesse sentido, a introdução de motores elétricos movidos a derivados do petróleo ocasionou modificações (posteriores) não desprezíveis, entretanto não é considerada por nós como *revolucionária*, uma vez que já estava posto historicamente pela máquina motriz a vapor a existência um motor que produz a própria força com potência inteiramente controlável.

¹⁶ O que levou Born (1969) a afirmar que a física clássica, embora o fundamento *a priori* da física atômica e da teoria quântica, não era correta em tudo.

grandes modificações técnicas no sistema automático, construído para ser impulsionado somente pelos princípios clássicos. Hoje, todas as máquinas que têm de se impor como transformadoras da matéria são construídas se considerando, fundamentalmente, os princípios quânticos, sempre que sua própria natureza e finalidade não impeçam que sejam utilizadas em tamanho pequeno. É desse modo que se transmuta a grande indústria, na medida em que passa a ser determinada pelo *sistema de laboratório*.

Assim, a revolução científica, guiada pelos princípios quânticos, teve como ponto de partida um sistema de máquina automática que operava com vários tipos de máquinas e era acionado por vários tipos de força motriz, sendo que essa junção foi capaz de trabalhar o objeto microscopicamente. O laboratório, por meio dos conhecimentos clássicos sobre a mecânica, ótica, termodinâmica e eletromagnetismo, passou a observar fenômenos inexplicáveis (pela ótica dos próprios parâmetros clássicos) que, apesar de “descobertos” pelos princípios que as geraram, apontaram para uma direção diametralmente oposta, negando-os. Temos, então, o laboratório, mas ainda como elemento simples da produção automatizada¹⁷. O laboratório é, historicamente, engendrado como uma necessidade da grande indústria, mas, enquanto esteve dependente e preso à máquina-ferramenta-automática baseada em princípios clássicos, não conseguiu se constituir a nova força produtiva.

As leis de Newton para a mecânica e gravitação vinham sendo aperfeiçoadas desde o século XVII e descreviam, com grande precisão, o comportamento dos corpos celestes e terrestres. Por outro lado, as propriedades elétricas e magnéticas haviam sido unificadas após o final de 1880 na teoria eletromagnética por James Maxwell. Entretanto, muitas das observações experimentais feitas no século XIX relacionadas à dinâmica de sistemas microscópicos - como grandes moléculas - *só eram aproximadas pela mecânica clássica*.¹⁸ *Buscando, teleologicamente, maior precisão das novas observações, os homens diminuíram o tamanho da máquina-ferramenta-automática e aperfeiçoaram e diminuíram os componentes com que a operavam, o que exigiu, ao mesmo tempo, força motriz e formas de transmissão mais potentes, porém adequadas à diminuição: para vencer a limitação precisaram de uma força motriz superior à utilização da máquina a vapor (e a carvão), objetivada em usinas elétricas (geradores) e no petróleo.* Desse modo, o transporte da máquina a vapor se mostrou impossível a longas distâncias, ou realizável com tecnologias ineficazes e, ao mesmo tempo, perigosas (cabos mecânicos, redes de água sob pressão ou de ar comprimido de vapor e de gás). *O menor tamanho e maior potência dos motores elétricos entraram em conflito com os mecanismos de transmissão, de modo que as “descobertas”, no século XIX, no campo do eletromagnetismo, resgataram a emissão termiônica ou eletrônica por T. Edison (em 1884) e tornaram possível e necessária seu emprego através da válvula de dois eletrodos e aprimoramento por Lee de Forest (em 1907) (ao introduzir um novo elemento e aplicá-lo com êxito nas transmissões de telegrafia sem fios). Aperfeiçoando a válvula diodo, inventada por Fleming poucos anos antes, Forest construiu o primeiro dispositivo eletrônico capaz de amplificar tensões elétricas.*¹⁹ Com a utilização prática para a emissão termiônica (através da utilização do diodo termoiônico, tríodos, tetrodos, pentodos, etc.), se iniciou a era da eletrônica termiônica, ou termiônica. Do mesmo modo, a fragilidade desse tipo de mecanismo de transmissão, evidenciada nas duas Guerras Mundiais, e os avanços dele decorrentes conduziram ao transistor²⁰, facilitador da miniaturização eletrônica.

¹⁷ Para saber sobre as grandes sínteses da Física ao final do século XIX e sua superação, ver Martins (2005).

¹⁸ Por exemplo, o problema tecnológico do controle da temperatura de fornos metalúrgicos simplesmente não pôde ser entendido dentro do âmbito da Física Clássica, e os físicos começaram a imaginar modelos microscópicos para explicar os fenômenos gasosos formulando a teoria cinética dos gases. Nessa teoria, a temperatura passa a ser uma indicação da energia cinética média das moléculas do gás, sendo possível relacionar o calor específico dos gases à sua composição molecular (Martins, 2005). Também as tentativas de explicar o comportamento da radiação utilizando os conhecimentos da mecânica clássica e da termodinâmica não foram bem sucedidas (Groote, 2005).

¹⁹ Essas informações são fáceis de encontrar no site www.educar.sc.usp.br

²⁰ Desenvolvido pela *Bell Telephone*, o transistor é um dispositivo que em comparação à válvula termoiônica é minúsculo. A chave de sua importância na sociedade moderna é a sua habilidade de ser produzido em enormes quantidades usando técnicas simples, resultando em preços irrisórios. O seu baixo custo permitiu que se transformasse num componente quase universal para tarefas não-mecânicas. Os materiais utilizados na fabricação do transistor são principalmente o Silício (Si), o Germânio

Desse modo, a grande indústria, ao se desenvolver por meio do laboratório, engendrou a constituição do novo: o *sistema de laboratório*, no século XX. Há mais de dois mil anos, os filósofos gregos Leucipo e Demócrito especularam que a matéria era constituída de partículas indivisíveis que eles denominaram átomos. Entretanto, somente no século XX, a existência dos átomos foi comprovada com bases científicas, social e universalmente para *todos* os homens, quando vários experimentos demonstraram que os átomos “apresentam uma estrutura que pode ser modificada” por ações exteriores (a despeito do fato de no final do século XIX já ter sido confirmada a existência de partículas menores do que o átomo, sem se saber, contudo, sua relação com o próprio átomo).

O nome “raios catódicos” foi dado em 1876 por Goldstein (1850-1930), e a palavra elétron por Stoney (1826-1911) em 1890, quando calculou a quantidade elementar de eletricidade pela combinação da lei da eletrólise de Faraday e o número de Avogadro. A experiência de 1897 de J. J. Thomson (1856-1940) foi o primeiro trabalho que confirmou que os raios catódicos eram a própria corrente de elétrons. Ele aplicou simultaneamente os campos elétrico e magnético aos raios catódicos e mediu a quantidade e/m , onde e é a carga elétrica do elétron e m é a sua massa. Com a descoberta do elétron, o significado da corrente elétrica e o mecanismo da emissão de onda eletromagnética ficaram esclarecidos; a teoria eletromagnética e a mecânica que trata dos movimentos dos elétrons começaram a ser relacionadas. Ainda mais, quando as várias propriedades eletromagnéticas da matéria foram sendo explicadas pela teoria dos elétrons através da pesquisa de Lorentz (1853-1928), no início deste século, o estudo das propriedades da matéria tornou-se parecido ao da mecânica, como no caso da termodinâmica. (Ferraz Netto, sd, p.1-2)

Os problemas teóricos com que se deparavam os homens e a ciência, no final do século XIX, se relacionaram com a estrutura da matéria.²¹ Antes disso, a matéria não constituía um problema causal da produção da existência dos homens, sendo apenas um problema casual.²²

(Ge) e alguns óxidos. Na natureza, o silício é um material isolante elétrico, devido à conformação das ligações eletrônicas de seus átomos, gerando uma rede eletrônica altamente estável. Quando o silício purificado é transformado por um processo chamado de *dopagem*, são introduzidos materiais selecionados (conhecidos como *impurezas*) que transformam a estrutura eletrônica, se inserindo entre as ligações dos átomos de silício, roubando ou doando elétrons dos átomos, gerando o silício **P** ou **N**, conforme ele seja *positivo* (tenha falta de elétrons) ou *negativo* (tenha excesso de elétrons) e como resultado temos ao fim do processo um *semicondutor*. O desenvolvimento do transistor em 1948 e de técnicas de miniaturização acelerou muito a confecção e o projeto de componentes e equipamentos eletrônicos - ainda assim, por exemplo nos anos 1970, os computadores ainda eram imensos: ocupavam salas inteiras e ninguém pensava em ter um em sua casa (Wikipedia, 2005, Valadares, 2005).

²¹ “Nas últimas décadas do século XIX foram estudadas descargas elétricas em gases rarefeitos. Estudando os fenômenos que ocorriam a pressões muito baixas, William Crookes descobriu os raios catódicos. Em 1895, investigando os raios catódicos, Röntgen descobriu os raios X. Foi uma descoberta inesperada, pois nenhuma teoria previa a existência de radiações invisíveis penetrantes como aquelas. Os raios X logo foram empregados na medicina e se mostraram muito úteis, mas não se sabia exatamente o que eles eram. Alguns pensavam que se tratava de uma radiação semelhante ao ultravioleta, outros imaginavam que eram ondas eletromagnéticas longitudinais, outros pensavam que eram partículas de alta velocidade. O que eram os raios X, afinal? Durante mais de 10 anos, eles permaneceram como uma radiação misteriosa. O estudo dos raios catódicos levou a uma outra descoberta importante. J. J. Thomson mostrou que eles eram constituídos por partículas com carga elétrica negativa (os elétrons), e que eles pareciam sempre iguais, qualquer que fosse o gás utilizado nos tubos de raios catódicos. Mas que relação essas partículas tinham com os átomos da matéria? Até essa época, ninguém havia suspeitado que pudessem existir coisas menores do que os átomos que os químicos estudavam. Os elétrons constituíam um problema no estudo da constituição da matéria. Também no final do século XIX os estudos de Henri Becquerel e do casal Curie levaram à descoberta da radioatividade e de estranhos elementos que emitiam energia de origem desconhecida. Ninguém sabia o que produzia esses fenômenos, e apenas vários anos depois é que se começou a desvendar a natureza da radioatividade. O que eram as radiações emitidas pelos corpos radioativos? De onde saia sua energia, que parecia inesgotável? O estudo da luz e das novas radiações havia levado a muitos sucessos, mas também trouxe grandes problemas. O espectro da luz do Sol, quando analisado com um espectrógrafo, mostra linhas escuras (descobertas por Fraunhofer). Depois se compreendeu que cada elemento químico em estado gasoso é capaz de emitir ou absorver luz com um espectro descontínuo de raios, e que o espectro do Sol é produzido pelos gases que o cercam. A espectroscopia se tornou um importante método de identificação dos elementos, e passou a ser um instrumento fundamental na química. Mas qual era a causa física dessas raios? De acordo com a teoria ondulatória da luz, cada linha do espectro deveria estar relacionada a algum fenômeno de oscilação regular, de uma frequência exata, capaz de emitir ou absorver aquela radiação. O que existia, nos átomos, que pudesse produzir isso? Durante a última década do século descobriu-

A teoria cinética dos gases havia sido um grande sucesso. No entanto, no final do século XIX, não se compreendia ainda muita coisa sobre a estrutura da matéria. O único estado da matéria para o qual havia uma boa teoria era o gasoso. Era incompreensível como os átomos podiam formar corpos sólidos, pois se sabia (pelo eletromagnetismo) que era impossível produzir um sistema estável de partículas em repouso que se mantivesse apenas por forças eletromagnéticas. Existiriam outras forças desconhecidas agindo dentro da matéria? A própria produção de moléculas era um mistério. Os átomos imaginados pelos químicos eram simples "bolinhas" sem estrutura. Como eles se unem? E por que motivos alguns átomos se unem entre si, mas não se unem com outros? Que tipos de forças são essas, que escolhem os parceiros? A Física não tinha resposta para essas perguntas. Um dos grandes problemas teóricos no final do século XIX era compreender a interação entre matéria e radiação. Como funcionam os materiais luminescentes? Por que os sólidos emitem um espectro luminoso contínuo, e os gases emitem espectros descontínuos? Se a luz é uma onda eletromagnética, existem cargas elétricas vibrando dentro dos gases, para produzir a luz emitida? Por que essas vibrações possuem apenas certas frequências, diferentes de um elemento químico para outro? Outro problema teórico provinha da mecânica estatística. Nos gases, a energia cinética média das moléculas depende apenas da temperatura. Numa mistura de gases, a energia se distribui por todos os tipos de moléculas, e as moléculas de menor massa (como hidrogênio) têm maior velocidade média do que as de maior massa. A teoria previa, assim, uma "equipartição de energia" por todos os tipos de partículas e de movimentos possíveis. Ela previa bem o calor específico dos gases, supondo que as moléculas eram simples "bolinhas". Mas se os gases são capazes de emitir espectros luminosos descontínuos, essas moléculas devem ser sistemas complexos. Por que, então, a teoria funcionava? Além disso, dentro de um recipiente com gás aquecido também existe radiação eletromagnética (térmica), e a energia deveria se distribuir entre as moléculas e as ondas luminosas. A teoria parecia indicar que iriam sendo criadas ondas luminosas, e que elas ficariam com toda a energia. No entanto, isso não acontecia. Por que? Uma cavidade quente ("corpo negro") emite radiação com um espectro contínuo. A teoria previa que ela deveria emitir mais radiação de pequenos comprimentos de onda (grande frequência) do que de grande comprimento de onda. Mas não era isso o que se observava. Até Lord Kelvin havia notado que havia algum problema nisso. (Martins, 2005, p.5-6)

O modelo atômico de Thomson²³, até então prevalecente foi refutado, originalmente, e aperfeiçoado pela experiência de Rutherford, que utilizou um feixe de partículas alfa, emitido por polônio radioativo, sobre uma folha fina de ouro. Ele constatou que a maioria das partículas atravessava a placa sem sofrer alteração em sua trajetória e que uma pequena fração delas era refletida de volta, o que o levou a propor que o átomo possuía um pequeno núcleo maciço com carga positiva, em torno do qual orbitavam apenas alguns elétrons, como se o átomo fosse um sistema solar em miniatura. Entretanto, do ponto de vista do eletromagnetismo clássico, esse modelo seria instável (os elétrons ao redor do núcleo, por estarem acelerados, emitiriam ondas eletromagnéticas - como ocorre com uma antena transmissora - e perderiam energia até colidir com o núcleo), contrariando todas as evidências esperadas.

se que os raios X e a radiação ultravioleta podiam descarregar eletroscópios. Em alguns casos, a luz visível também podia produzir esse 'efeito fotoelétrico', mas o fenômeno dependia da frequência da luz e do tipo de metal utilizado. Não se compreendia como isso ocorria, nem por que motivo alguns tipos de luz não conseguem produzir o efeito fotoelétrico. Compreendeu-se que, no efeito fotoelétrico, a radiação arranca elétrons dos metais. Esse efeito deveria depender da intensidade da luz (energia), e não da cor ou frequência. Mas não era isso o que acontecia". [sublinhado nosso] (Martins, 2005, p.4-5)

²² "Em meados do século XVIII, quando a eletrologia havia dado um grande passo e a técnica de vácuo havia sido desenvolvida por Guericke e outros, foi descoberta a descarga no vácuo por Grumert (1719-1776), Watson (1715-1787) e outros. Faraday também, em 1836, observou a chamada *região negra*, que aparece perto do cátodo. Depois, o tubo de descarga no vácuo foi melhorado bastante por Geissler (1815-1875), Crooks (1832-1919) e outros, e a rarefação do tubo também progrediu. Em 1858, Plücker (1801-1868) observou que, quando o gás do tubo se torna extremamente rarefeito, desaparece a luminescência e, por sua vez, aparece uma fluorescência na parede do vidro, atrás do ânodo. Sob o ponto de vista atual, esse é o fenômeno fluorescente causado pelas colisões com o vidro dos elétrons de alta velocidade emitidos do cátodo; mas, no começo, pensava-se que eram novos raios emitidos do cátodo ou oscilação do éter, e a confusão continuava." (Ferraz Netto, sd, p.1)

²³ Esse modelo consistia milhares de elétrons que se moviam em um enxame de abelhas numa nuvem desprovida de massa e que possuía carga positiva, de modo que o conjunto fosse eletronicamente neutro.

Assim sendo, a história expressou, através de Bohr, a suposição de que as leis físicas que descrevem o mundo macroscópico não se aplicam ao mundo atômico. Incorporando o conceito de Planck²⁴ (explicitado na virada do século XIX para o século XX, relativo a *energias discretas*) e o de Einstein (explica o processo de absorção de radiação pela matéria), Bohr propôs que os elétrons descrevem órbitas bem definidas em torno do núcleo e que o estado fundamental do elétron corresponde à órbita de mais baixa energia, a partir do qual se encontraria “livre” da influência do núcleo, podendo, nesse caso, ter energias arbitrárias. As transições previstas por seu modelo, uma vez consistentes com os dados espectroscópios disponíveis na época, impulsionaram várias pesquisas que culminaram com a formulação da mecânica quântica (Valadares, 2005). Entretanto, apenas na década de 1920, a “teoria quântica” se transformou na Mecânica Quântica, proporcionando uma compreensão mais profunda da dualidade onda-partícula, com De Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Bohr e outros. Passou-se a compreender pelo pensamento fenômenos importantes como a estrutura de átomos e moléculas (que forma a base de toda a química), o comportamento dos elétrons e das partículas de luz, a estrutura de sólidos e suas propriedades, a emissão e absorção de radiações. Onde, partículas quânticas dizer respeito ao universo das dimensões atômicas ou moleculares (Dadidovich, 2004).

Portanto, depois que os instrumentos foram transformados, teleologicamente pelos homens, de *máquina-ferramenta-automática que opera o objeto macroscopicamente em máquina-ferramenta-automática que incide no objeto microscopicamente, por meio de alterações nos conjuntos de sistemas de partículas quânticas, a produção da existência dos homens adquire uma forma independente, inteiramente livre, dos limites da máquina-ferramenta-automática, de incursão clássica, de ação sobre a forma exterior do objeto. Com isso, o laboratório isolado que observamos até agora, reduzido ao simples elemento da produção automatizada (na grande indústria, no século XIX), passa a ser o complexo elemento da produção automatizada: o sistema de laboratório*. Assim, o fazer atômico/molecular impulsionou, ao mesmo tempo, a constituição de novas forças produtivas e de novas áreas da ciência como, também, o desenvolvimento das áreas já existentes. As máquinas motrizes (motores) se adequaram, reduzindo seu tamanho, para impulsionar o novo sistema de máquina-ferramenta-automática já diminuído em suas proporções: somente assim, a natureza da força motriz, a energia elétrica, diminuiu, generalizadamente, o tamanho do motor e do mecanismo de transmissão. *Desse modo, a revolução iniciada em fins do século XIX não produziu nem o desenvolvimento da eletricidade nem a invenção de máquinas movidas a eletricidade. Ao contrário, a eletricidade e a máquina elétrica alcançaram tal importância porque o laboratório e a crescente decomposição dos processos parciais da produção na grande indústria fizeram possível e necessário desenvolver, como processo objetivo, um mecanismo adequado a superar as barreiras existentes (colocadas pela grande indústria), e, então, a máquina elétrica, que havia sido engendrada pela grande indústria, encontrou um campo preparado para sua aplicação como motor*.

Enquanto que o ponto de partida singular da grande indústria são os *instrumentos de trabalho* (Marx, 1996), o ponto de partida singular do *sistema de laboratório* são os *objetos de trabalho*. Assim, os elementos constituintes da matéria (as moléculas e os átomos), cuja importância para as concepções em nanotecnologia é maior, são: Hidrogênio (H), Carbono (C), Nitrogênio (N), Oxigênio (O), Flúor (F), Silício (Si), Fósforo (P), Enxofre (S) e Cloro (Cl) (sendo que outros elementos são utilizados com menos frequência). Por suposto, no *laboratório* também o instrumento de trabalho é muito importante, pois serve à decomposição-composição desses elementos, mas a *revolução de todo o processo de produção, no século XX*, que foi preparada, dentro dos limites da grande indústria do século XIX, pela decomposição e composição dos instrumentos - dos componentes do sistema de máquinas, a saber, força motriz,

²⁴ Por meio de interpretações que divergem da física clássica de Newton, o trabalho de Plank engloba os princípios físicos capazes de explicar o comportamento da matéria e da luz em escalas muito pequenas. A descrição quântica de um sistema físico aponta comportamentos contraditórios desse sistema, que variam em função das diferentes condições de observação. O caráter não-determinístico do universo, sustentado pela nova teoria, foi reforçado pelo *princípio da incerteza*, do físico alemão Werner Heisenberg. (Valadares, 2005)

mecanismo de transmissão e máquina-ferramenta-automática -, *não veio da força motriz, do mecanismo de transmissão ou mesmo do seu mecanismo executor, mas do objeto e das possibilidades dos homens em desenvolver as forças produtivas e delas se separar, tendo como resultado sua própria eliminação como força produtiva imediata, por decomporem e criarem a matéria*. Logo, mesmo que o mecanismo executor e as outras partes da máquina existam para alterar composição atômica e/ou molecular do objeto, sendo componentes muito importantes do *sistema de laboratório*, não é esse o aspecto determinante do seu caráter fundamental do *sistema de laboratório*, apesar de sinalizar *aquilo a partir do que nasce algo que pode ser o equivalente do germe* (ou aquilo que vem a ser a possibilidade do germe, do novo). A *revolução iniciada em fins do século XIX não produziu nem o laboratório nem a ciência como elemento complexo que produz o fazer atômico/molecular (o sistema de laboratório), mas, ao contrário, a máquina-ferramenta-automática que incide no objeto atômicamente/molecularmente alcançou tal importância precisamente porque, como diria Marx (1996, 1989), a união (cooperação) e o vínculo (intercâmbio) - materiais - desenvolvidos pelos homens, através da objetivação do processo de desenvolvimento/decomposição na grande indústria, fizeram possível e necessário desenvolver tal instrumento que já havia sido engendrado durante todo o século XIX e que encontrou, em fins do século XIX/princípios do século XX, um campo preparado para sua aplicação.*²⁵ Desse modo, a ciência se revela o *fazer dos homens, produto da práxis humana, considerando sua capacidade em desvelar a natureza a partir das condições materiais e socialmente postas* (Marx, 1989).

3. O PROCESSO DE PRODUZIR DO SISTEMA DE LABORATÓRIO

A interação entre as várias áreas da ciência se exprime, na produção realizada no *sistema de laboratório*, de duas maneiras: a) no sistema de máquinas automáticas, sintetizado num só aparelho e b) na interação de múltiplos sistemas de máquinas automáticas, materializada em vários aparelhos que atuam conjuntamente.

No primeiro modo de interação, cada aparelho é a síntese diminuta da combinação de máquinas de diferentes espécies e diferentes habilidades dos homens - ou, do “verdadeiro sistema de máquinas”, conforme Marx (1996, p.432) -, que opera sobre o objeto. Abstraindo a interação dos aparelhos entre si, observando um aparelho isoladamente, a transformação que se opera sobre o objeto é desprovida de caráter subjetivo²⁶. Pelo aparelho, a execução é objetiva *em si mesma*, por meio dos seus diversos componentes, e o problema de levar a cabo cada um dos diversos processos e de entrelaçá-los é resolvido com a aplicação de outros domínios da ciência.²⁷ Parece que executa, nesse caso, todos os movimentos

²⁵ Uma anedota ilustra bem o ponto de partida do laboratório (o *objeto*) e a não-compreensão por parte dos homens a respeito das descobertas em fins do século XIX, momento em que se colocava claramente a importância de instrumentos (máquinas) melhores. “Quando o físico e químico britânico Michael Faraday (1791-1867) demonstrou o fenômeno recém-descoberto da indução eletromagnética, o então ministro das finanças da Inglaterra, William Gladstone (1809-1898), teria perguntado ao cientista: ‘Está tudo muito bem, mas para que serve a indução eletromagnética?’ A resposta de Faraday: ‘Eu não sei, mas um dia o senhor poderá cobrar imposto sobre isso’” (Rumjanek, 2004, p.22).

²⁶ Conforme Latour (1997), que realizou pesquisa etnográfica por dois anos (1975-1977) em um laboratório de neuroendocrinologia, “pode-se perfeitamente passar sem as pipetas automáticas, mesmo que se perca um pouco de tempo realizando manualmente a operação. Mas se o contador gama quebra, será difícil medir a radioatividade a olho nu! A observação da radioatividade depende totalmente da presença do contador” (Latour, 1997, p.62).

²⁷ Os *inscritores* (máquinas que transformam a matéria em escrita), as habilidades e máquinas utilizadas vêm de *outro domínio*. “Uma seqüência de operações e um teste, atualmente banalizados, foram, no passado, objeto de debate e produziram publicações em outro domínio. Os aparelhos e as habilidades de um domínio materializam os resultados finais de debates ou controvérsias ocorridas em outro espaço. Esses resultados entraram no laboratório por meio indireto [...] O inscriteur produz inscrições que pode, por sua vez, servir para que se escrevam artigos ou para que se façam intervenções significativas, concebendo aparelhos a partir de teorias pré-estabelecidas. Quando um membro do laboratório [neste caso de bioquímica/neuroendocrinologia], por exemplo, trabalha em um computador, ele recorre, ao mesmo tempo, à potencialidade da eletrônica e da estatística. Um outro que se utiliza do espectrômetro RMN [ressonância magnética nuclear de alta resolução] para controlar a pureza de seus compostos, usa a teoria do *spin* e os resultados de 20 anos de pesquisa física fundamental. Quando se discute a estrutura especial de um fator de liberação, utilizam-se implicitamente os trabalhos desenvolvidos pela

necessários para a transformação “sem ajuda humana”, pois a intervenção humana (que requer habilidades específicas) ocorre em função da vigília e/ou término da vigília sobre o processo. Entretanto, o *ser social*, o humano, está expressado/materializado no aparelho.

No segundo modo de interação, o conjunto dos vários aparelhos (cada qual constituindo um sistema de máquina diminuto), acrescidas as habilidades dos homens vivos para, teleologicamente, decomporem partículas quânticas, *em si e para si*, constituem o *sistema de laboratório*. Não são os aparelhos, isoladamente, que constituem o elemento fundante do *sistema de laboratório*, mas os *vários aparelhos existentes conjuntamente com as habilidades dos homens*.²⁸ A cooperação entre os homens não ocorre sob a forma de combinação de *um único sistema de máquina-ferramenta-automática parcial complementar*, tal qual na grande indústria (que patenteia o *verdadeiro sistema de máquinas*, segundo Marx) em que as máquinas controlavam os homens, predominantemente ao controle destes sobre elas.²⁹ A *cooperação ocorre sob a forma da combinação de vários sistemas de máquina-ferramenta-automática, expressados na existência dos vários aparelhos*. Desse modo, os aparelhos específicos e as habilidades (ambos provenientes de outros domínios) se transformam em órgãos adequados de uma função especial: cada um dos *vários sistemas de laboratórios* se distingue, pela configuração particular dos vários aparelhos existentes, para responder a uma necessidade bem definida.

O sistema de laboratório reproduz dois elementos que na indústria moderna emergiram como pressupostos, porém, coloca-os como condições postas.

O primeiro é a substituição do homem por forças naturais, e, conseqüentemente, da rotina empírica pela aplicação consciente da ciência no processo produtivo. O segundo é que o processo mecanizado só funciona “por meio de trabalho diretamente coletivizado ou comum”. (Aued, 2005, p.20)

A própria grande indústria, de modo geral, fornece ao *sistema de laboratório* a base original da divisão e organização do trabalho.³⁰ Entretanto, se verifica imediatamente uma diferença essencial.

química em geral, há vários decênios. O mesmo acontece quando se realiza um radioimunoteste para procurar uma nova substância: é suficiente o conhecimento de alguns princípios de imunologia e de radioatividade. Todo o progresso realizado em um laboratório está de certa forma ligado ao que se passa nos outros domínios” (Latour, 1997, p.63-64). “O laboratório apropria-se do gigantesco potencial produzido por dezenas de outros domínios de pesquisa, tomando emprestado um saber bem instituído e incorporando-o sob a forma de aparelhagem ou de uma sequência de manipulações”. [sublinhado nosso] (Latour, 1997, p.66)

²⁸ “É evidente que alguns aparelhos têm um papel mais importante do que outros no processo de pesquisa. O vigor de um laboratório não está tanto na posse deste ou daquele aparelho, mas na presença de uma configuração particular de aparelhos especificamente concebidos para responder a uma necessidade bem definida”. Assim, por exemplo, a presença de centrífugadores e evaporadores rotativos permite deduzir que a pesquisa é no campo da biologia, porém não se sabe em qual subcampo. “É pela presença de biotestes, de imunotestes, de radioimunotestes, de Colônias de *Sephadex* e de toda uma gama de espectrômetros que se reconhece a marca da neuroendocrinologia. Em um mesmo lugar, encontra-se reunida toda uma série de inscrites utilizados de formas muito variadas para estudar diferentes subáreas. O espectrômetro de massa, por exemplo, serve para produzir artigos sobre a estrutura de uma substância; as culturas de células servem para estudar a síntese do ADN na biossíntese dessas mesmas substâncias” (Latour, 1997, p.62/62-63).

²⁹ A respeito do controle das máquinas sobre os homens, remetemos o tema a Marx: “quando a divisão do trabalho reaparece na fábrica automática, ela é antes de tudo distribuição de trabalhadores pelas diferentes máquinas especializadas, e das massas de trabalhadores, que não formam grupos específicos, pelas seções da fábrica, em cada uma das quais trabalham em máquinas da mesma espécie, juntas umas das outras, em regime portanto de cooperação simples”. Há agora conexão entre o trabalhador principal e seus poucos auxiliares. “A distinção essencial ocorre entre trabalhadores que estão realmente ocupados com as máquinas-ferramenta (inclusive alguns trabalhadores que tomam conta da máquina motriz e a alimentam) e seus auxiliares [...]. Entre os auxiliares podem ser incluídos os que alimentam a máquina com o material a ser trabalhado. Ao lado dessas duas classes principais, há um pessoal pouco numeroso, que se ocupa com o controle de toda a maquinaria e a repara continuamente, como os engenheiros, mecânicos, marceneiros, etc. É uma classe de trabalhadores de nível superior, uns possuindo formação científica, outros dominando um ofício; distinguem-se dos trabalhadores da fábrica, estando apenas agregados a eles. Sua divisão de trabalho é puramente técnica”. (Marx, 1996, p.480/480-481)

³⁰ Cf. p.413-414 de *O Capital*, livro I, v.1.

Na produção automatizada da grande indústria desaparece o princípio subjetivo da divisão do trabalho, porque o processo por inteiro é examinado objetivamente, em si mesmo, em suas fases componentes, e o problema de levar a cabo cada um dos processos parciais e de entrelaçá-los é resolvido com a aplicação técnica da mecânica, química, etc. (Marx, 1996, p.433-434). Donde o caráter cooperativo do processo de trabalho *ser*, sob as condições burguesas, uma necessidade técnica imposta em função da natureza do próprio instrumental de trabalho e não em função da idéia dos homens (*Op.cit.*, 20-21). Parece, na grande indústria, que não há *general intellect* e sim “idéias de alguns homens geniais inventores”, mas, de fato, ele está expressado como universalidade objetivada, porque seu pressuposto é a decomposição da subjetividade do trabalhador coletivo manufatureiro, cujo resultado é a máquina. Nesse caso, em função de o *general intellect* estar objetivado, exteriorizado, como *instrumento de trabalho*, a ciência aparece como externa à produção material, como “coisa da cabeça dos homens”, e a força universal pensante aparece como domínio objetivo do capital.

Já no *sistema de laboratório*, o processo de produção *depende* de uma certa materialidade, distinta da materialidade da grande indústria, não somente objetivada como *instrumentos de produção*, mas como *objeto com o qual se trabalha*. Sendo assim, *o caráter geral material do processo se expressa no e pelo general intellect, como força universal pensante, porque sendo os processos parciais (realizados pelos aparelhos) examinados objetivamente em si mesmo, a universalidade como objetivação se expressa não somente nos aparelhos, mas também - e fundamentalmente -, materialmente, no homem pensante, teleologicamente posto*. Nesse sentido, o *general intellect*, posto pelo *sistema de laboratório*, é pura ação humana intelectual, consciente e objetivamente posta, porque tem por pressuposto a decomposição do trabalhador coletivo materializado na máquina, cujo resultado são os aparelhos de laboratório que decompõem a matéria. Nisso reside o *caráter revolucionário/salto ontológico do processo de produzir*.

No entanto, esse processo aparece como *construído* pelos aparelhos, em que reside a construção de uma “realidade artificial”, da qual os homens falam como se fosse uma “entidade objetiva”, mas que, na verdade, é a aparência do processo real de produção.

A forma pela qual os inscritesores [máquinas que transformam matéria em escrita] são utilizados no laboratório distingue-se por um traço essencial: uma vez que se dispõe do produto final - a inscrição -, rapidamente é esquecido o conjunto das etapas intermediárias que tornaram possível sua produção. A atenção concentra-se sobre os esquemas ou figuras, enquanto são esquecidos os procedimentos materiais que lhes deram nascimento, ou melhor, há um acordo para relegá-los ao domínio da pura técnica. Desse modo, acaba-se, em primeiro lugar, por considerar as inscrições como indicadores diretos da substância que constitui o objeto de estudo. Em aparelhos como o analisador automático, a própria substância parece inscrever sua assinatura. Em seguida, desenvolve-se a tendência contrária, ou seja, a de pensar as idéias, os conceitos ou as teorias particulares em termos de confirmação, de refutação de prova pró ou de prova contra. Assiste-se então à transformação daquilo que não passa de um simples resultado de uma inscrição em um objeto que adere à mitologia em vigor. Essa transformação esclarece-nos sobre as atividades dos atores. [sublinhado nosso] (Latour, 1997, p.60)

Os homens “vão fazendo a transformação geral” a partir de cada aparelho e a habilidade requerida para manipulá-lo, como uma operação parcial, segundo a função específica a que se destina dentro do laboratório (por exemplo, um sintetizador de peptídeos tem uma função bem específica): em si, essa operação parcial é objetiva e expressa o processo social de produção. Da mesma forma, posto o conjunto dos aparelhos e das habilidades requeridas à necessidade final, desse *sistema de laboratório*, os homens, como seres sociais pensantes, operam uma transformação final que é eminentemente coletiva, em que reina o princípio objetivo e que expressa o processo social *de produção*.

Observando amplamente, a necessidade final é produzida por aparelhos e habilidades que dependem não somente do próprio *sistema de laboratório* (no sentido de estarem a ele vinculados), mas, materialmente, de outros domínios da ciência - no que reside o caráter social *de sua condição*. Somente a partir dessa condição geral do processo de produção e das várias execuções parciais os homens “efetivam a transformação final” ou satisfazem sua necessidade final (e também a dos outros).

Portanto, entendemos esse processo de duas maneiras.

Isoladamente, é, ao mesmo tempo, *objetivo e um coletivo de homens* que cooperam objetivamente, no sentido de que, uma vez produzida a *inscrição*, que contém indicadores diretos das substâncias que constituem o objeto de estudo - o dado “objetivo” -, os homens se unem para pensar (fazer) as idéias, os conceitos, ou as teorias.

Quando a cadeia de operações está organizada como uma série de atividades de rotina, pode-se contemplar plenamente os dados novos, [por exemplo] abstraindo-se que a imunologia, a física atômica, as estatísticas e a eletrônica presidiram sua obtenção. A partir do momento em que as folhas estão sobre as mesas de trabalho, podem-se ocultar as várias semanas de esforços que esses resultados custaram para os técnicos e as centenas de dólares investidos na produção. Uma vez que os artigos estão escritos e que o resultado essencial deu origem a um novo inscridor, nada melhor do que esquecer que a produção do artigo depende de fatores materiais. A bancada é relegada a segundo plano, chega-se a negligenciar a existência dos laboratórios. Esta é a hora das “idéias”, das “teorias” e das “razões”. Parece que os inscridores são mais valorizados quanto mais suave tornam a transição do trabalho manual às idéias. O ambiente material tem, portanto, uma dupla característica: ele é o que torna possível os fenômenos e é dele que se deve facilmente esquecer. Sem ele, não se poderia dizer que um objeto do laboratório existe. E, no entanto, ele só é mencionado muito raramente. É este [o] paradoxo, traço essencial da ciência. (Latour, 1997, p.67)

Socialmente, é *materialmente cooperativo*, pois depende da condição geral (das condições objetivas imediatas e de homens que manipulam aparelhos, e da condição coletiva de homens que se unem para operar objetivamente por meio do pensamento) dada por outras áreas da ciência.

Isso porque pela alienação, o homem, ao reproduzir a substituição dele mesmo por forças naturais e por um processo que só funciona por meio do trabalho comum, engendra uma base produtiva de sua existência cujo caráter cooperativo do processo de trabalho, em função da natureza do próprio instrumental, é uma necessidade técnica das idéias dos homens pensantes, teleologicamente postos. Essa necessidade é a própria utilização do trabalho passado como condição posta da produção da vida em dimensão superior às legadas pelas gerações presentes (Aued, 2005a)

Ocorre que, no *sistema de laboratório*, o ponto de partida é o *objeto com o qual se trabalha* e não os *instrumentos de trabalho* tal como na grande indústria. Somente no *sistema de laboratório*, a decomposição atômica/molecular do objeto, esse conhecimento da matéria como condição social da produção, se coloca como necessidade socialmente imposta. A grande indústria, ao se assentar sobre o laboratório, engendrou o germe do que vem a ser o *sistema de laboratório*, sua superação. Na *infância do sistema de laboratório* (isto é, quando do laboratório), as transformações estão ainda vinculadas não somente à necessidade de eficientizar o processo de trabalho (essencialmente nos ramos em que o processo de produção ainda não é objetivo, a ponto do grau de decomposição permitir expulsar homens da produção), mas fundamentalmente, à decomposição das próprias máquinas automáticas (instrumentos), em cada um dos processos parciais do autômato. O aperfeiçoamento, por meio do laboratório, dos instrumentos com os quais se produz - e isso, o mais necessário nesse momento histórico em que se desenvolve a grande indústria - considera sempre a *forma exterior do objeto*, não porque não importe ser diferente disso, mas porque não há como ser diferente.

Aparentemente, no *sistema de laboratório*, os homens *reaparece*” como essenciais ao processo (pois haviam sido *relegados*, na grande indústria, ao nível de apêndice do sistema de maquinaria), tal como outrora essenciais na manufatura. *Entretanto, agora, o processo é levado a cabo pelo general intellect* - entendido por nós como “[...] a ciência, o produto do desenvolvimento histórico geral em sua quinta-essência abstrata [...]” (Marx, 1987, p.387) -, *como determinação social da produção material que*

*se expressa como conhecimento da constituição da matéria e homem pensante.*³¹ Na grande indústria moderna (à época de Marx), o *general intellect* também esteve posto pela determinação social da produção material, via laboratório, mas essa determinação era *operação sobre o objeto transformando-o exteriormente* cuja eficiência podia prescindir da necessidade de conhecimento da constituição da matéria (hoje já não mais). Por que a eficiência da transformação, na grande indústria, pôde prescindir do conhecimento da constituição da matéria? Porque esse conhecimento não é determinado por esse espaço (o da grande indústria), mas pelo *sistema de laboratório*. Agora é a grande indústria que depende inteiramente do *sistema de laboratório* e não o contrário. Onde, a diferenciação entre o aperfeiçoamento da teoria através da experiência acumulada na *grande indústria* (que se expressa idealmente nos princípios clássicos) e no *sistema de laboratório* (que se expressa idealmente nos princípios quânticos relativos à química, física, etc.) (O laboratório - na *grande indústria* - tem sua *expressão ideal* somente por princípios clássicos, mas o *sistema de laboratório* - o que há de mais avançado - tem sua expressão não somente nos princípios clássicos, mas fundamentalmente nos quânticos. Logo, não se trata, hoje, da grande indústria de outrora, pois se transmuta ao ser determinada pelo *sistema de laboratório*, passando a integrar uma nova totalidade: antes, foi engendrada pela manufatura, que alterava a forma exterior, e agora é a parte operacional do *sistema de laboratório*).

Para além de encurtar a parte do dia de trabalho da qual o trabalhador precisa para si mesmo, o trabalhador social engendra o pressuposto material de superação da própria alienação ao criar a *máquina-ferramenta-automática que decompõe partículas quânticas* (que constitui o aparelho do *sistema de laboratório*). Isso porque o material orgânico do *ser social*, como corpo do homem, é o mesmo da natureza. Em outras palavras, o *sistema de laboratório* evidencia que o homem altera/produz sua natureza, ao produzir a natureza externa. Entretanto, a alienação ainda não se resolve por completo, pois os homens ainda não produzem outros homens, *em si e para si*, mas enquanto exterioridade que é capital. Cada aparelho, uma versão sintetizada diminuta do sistema de máquinas automáticas da grande indústria, opera sobre determinado objeto fornecendo matéria-prima a outro aparelho. Tais aparelhos não necessariamente funcionam de forma simultânea, de modo que o produto se encontre simultaneamente em todas as fases de transição (o mesmo não se pode dizer da produção laboratorial industrial, que fornece elementos ao *sistema de laboratório*). Por isso, a cooperação entre os homens, no *sistema de laboratório*, não estabelece proporções quantitativas entre setores especializados, com referência ao número ou velocidade dos aparelhos, mas *qualitativas* referentes a funções dentro da equipe que podem ou não estar vinculadas a algum tipo de aparelho: são especificações técnicas e avaliativas de crédito dos indivíduos, socialmente requeridas³². O *general intellect* está objetivado no homem. A continuidade dos processos parciais, os quais são efetivados objetivamente por aparelhos, é um princípio fixado pela universalidade do processo social de produção, pelo *general intellect* no homem objetivado. Note-se que a força engendrada socialmente pelos *homens em cooperação* adveio de um processo historicamente determinado e que expressa a criação universal entre todos os homens na produção material de sua existência (Marx, 1993). Nesse sentido, à medida que os aparelhos se universalizam em todos os campos, a divisão do trabalho nas condições burguesas tende a desaparecer. Observe-se que, na grande indústria, a *universalidade* objetivada

³¹ Quando as máquinas e o *sistema de máquinas* tornam-se inteligentes, “esses conhecimentos que se encontram dentro das cabeças dos trabalhadores e em parte nas próprias máquinas são distribuições descentralizadas de um todo altamente complexo de saberes científicos, tecnológicos e produtivos que Marx chama de intelecto geral” (Prado, 2003, p.123).

³² Há uma separação muito clara entre duas zonas do laboratório. Uma está repleta de aparelhos diversos utilizados em diferentes tarefas: corta-se, cose-se, mistura-se, agita-se, marca-se, etc. Outra contém exclusivamente livros, dicionários e artigos, trabalhando-se apenas com material escrito: lê-se, escreve-se, digita-se ao computador. Além disso, os que pertencem à segunda seção, e que não usam jaleco branco, passam longo tempo discutindo com seus colegas, de jaleco branco, da primeira seção. Os “bacharéis” lêem e escrevem sentados à mesa, enquanto os “técnicos”, passam a maior parte do tempo ocupados com os aparelhos. (Latour, 1997, p.37). Tais proporções qualitativas estão além das fronteiras entre os países: no laboratório em questão, estudado por Latour, é mencionado claramente 6 nacionalidades diferentes e 4 tipos de profissionais, de acordo com a função exercida, envolvidos diretamente com a rotina do laboratório (químicos-pesquisadores, “técnicos” - que preparam o laboratório, etc., secretárias e empregados - que depositam carregamentos, efetuam limpeza, etc.).

é a *interligação*, pois o universal como máquina está seccionado. Sendo assim, observamos *divisão das máquinas*, mas não dos homens, pois estes acompanham as máquinas, as quais modificam formas e criam objetos, só então ocorrendo divisão técnica. Já no *sistema de laboratório*, o universal é a *máquina singular* (o aparelho) e, ao mesmo tempo, todos os *sistemas de laboratórios* (de modo a não estar seccionado). Logo, pelo pensamento, os homens são igualados e o que os diferencia, em princípio, é o grau de informação do conhecimento que possuem. Por ser essa condição do trabalho pura abstração, ela tende a negar a divisão do trabalho subsumida pela lógica do capital, visto que sua universalidade tem os pés bem assentes na terra.

O *sistema de laboratório* se baseia na combinação de aparelhos de diferentes espécies constituindo, ao mesmo tempo, um corpo orgânico e inorgânico. Conforme Fausto (2002), talvez porque discuta pela ótica da importância do trabalho vivo, se diria que *reaparece a comunidade de homens perdida na grande indústria* – pois na grande indústria, *a comunidade que se objetivou é a de máquinas*. Mais além dessa perspectiva, para nós, está *o trabalho social em sua forma mais avançada*. Inferimos, de qualquer modo, que, *por isso mesmo, tal comunidade “perdida” necessita se assentar sobre a ciência (o laboratório) para se desenvolver*. Os homens, antes apêndice na linha de produção na grande indústria, não continuam sendo apêndice no *sistema de laboratório* devido à transformação que agora se realiza - desvincilhada dos limites da grande indústria - posto que se apropriam do objeto pela *compreensão da natureza*, em sua constituição estrutural atômica/molecular. Na grande indústria, eles também se apropriavam objetivamente da natureza³³, mas essa apropriação *não tinha como condição socialmente imposta, a compreensão da natureza*, isto é, o conhecimento e domínio da composição atômica/molecular do objeto através do *ser social*. Na *grande indústria*, a decomposição da *matéria* não era, essencialmente, imperativa e, por isso, a transformação se dava por um processo de *conhecimento da natureza*:

[à] medida que os homens, em processo contínuo e constante, apropriam-se da natureza sensível ao dominar suas leis imanentes, desenvolvem-se meios de produção que permitem ao homem dominar, controlar, moldar e imprimir-lhe formas que lhes são necessárias à satisfação de suas necessidades. (Aued, 2005, p.21)

O fato de cada um dos aparelhos do *sistema de laboratório* possuir um motor próprio exprime a funcionalidade de gerar eletricidade a partir de vários tipos de reações e a necessidade de os homens tornarem possível a produção de novas fontes de energia (eólica, solar, biodiesel, etc.) em larga escala. Quando os aparelhos, ao operarem sobre o objeto, executam “sem ajuda humana” todos os movimentos necessários para a transformação da matéria (nesse caso o homem somente “a vigia”), necessitando de intervenção humana apenas para levar o objeto de um aparelho a outro, temos um *sistema de laboratório*. De fato, se trata da *cooperação de homens* se apropriando, se objetivando, *ser social*.

A produção automatizada da grande indústria, que traz em suas entranhas a constituição do laboratório, encontra sua forma mais desenvolvida no *aparelho do sistema de laboratório*, o qual recebe seus movimentos de uma força motriz externa ou interna (no caso de um gerador) - note-se que esse aparelho já contém um motor e os meios de transmissão. Por isso, surge no lugar do “monstro mecânico que enche edifícios inteiros e cuja força demoníaca se disfarça nos movimentos ritmados quase solenes de seus membros gigantescos e irrompe no turbilhão febril de seus inumeráveis órgãos de trabalho” (Marx, 1996, p.435), uma máquina isolada de proporções bem menores, que conjuntamente com outras ocupa um espaço bem menor. O *aperfeiçoamento* dos aparelhos está ligado ao que se passa em outros domínios envolvendo principalmente a física, química, biologia, engenharia elétrica e ciência dos materiais, enfim, áreas relacionadas à *compreensão* do objeto (da estrutura atômica/molecular da matéria) e ao *conhecimento do objeto* (em sua forma exterior). Assim, a grande indústria, cujo ponto de partida é o “autômato orgânico”, na medida em que passa a ser decomposta pelo laboratório - mas ele é, inicialmente,

³³ Pois “[...] Não é mais o trabalhador que intercala o *objeto natural modificado* como membro intermediário (*Mittelglied*) entre ele e o objeto. Mas ele intercala o *processo natural* que ele transforma em um processo *industrial* como intermediário (*Mittel*) entre ele e a natureza inorgânica que ele *submete* (*sich bemeistert*)” (Marx *apud* Fausto, 2002, p.130).

um apêndice do desenvolvimento/decomposição das partes constituintes da maquinaria (força motriz, meio de transmissão e máquina-ferramenta-automática) -, supera através do *sistema de laboratório* a limitação de transformar os objetos prescindindo de compreender a estrutura atômica da matéria. A *decomposição* - através do *laboratório* como *expressão ideal* da grande indústria, pois se assenta sobre determinado conhecimento, o clássico - *da máquina-ferramenta-automática que incide sobre o objeto constrói fenômenos que não são passíveis de ser explicados pelo próprio conhecimento que os geraram. E o laboratório, antes apêndice, se autonomiza da grande indústria e a “supera incorporando-a”* (numa palavra, passa à relação de sistema de laboratório), ao se expressar como materialidade que decompõe a estrutura da matéria através da composição de diversos aparelhos (sínteses diminutas do “autômato orgânico”) pertencentes a diversos domínios. A partir desse momento, outra abordagem material (sistema de laboratório) e teórica (conhecimento quântico) dos fenômenos físicos passa a constituir o elemento fundante da reprodução da existência dos homens. Eis no que reside o ponto de partida do sistema de laboratório: os próprios objetos, a constituição da matéria.

4. SUPERAÇÃO DO SISTEMA DE LABORATÓRIO?

Se afirmamos que foi justamente a necessidade de os homens de produzir sua existência que revolucionou a grande indústria, como explicar as “mudanças tecnológicas” propagadas a partir da década de 1970? O que distinguiria esse segundo momento (se é que pode vir a ser considerado como *momento superior* como comumente se entende)?

Em princípios do século XX, mesmo sendo revolucionária, a *máquina-ferramenta-automática*, que significava desvelar o objeto atômica/molecularmente, não permitia a *manipulação individual* de partículas quânticas. Precisamente, em 1981, os homens produzem essa “invenção” por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer: o microscópio eletrônico de tunelamento por varredura (STM na sigla inglesa)³⁴. Com esse equipamento, foram obtidas as primeiras imagens individuais de átomos e moléculas, superando todas as técnicas de observação e de medida até então usadas e possibilitando uma nova visão da ciência sobre a matéria e o desenvolvimento das técnicas de nanotecnologia (área da tecnologia que permite manipular os constituintes da matéria e medir seu tamanho). Já existiam microscópios eletrônicos de alta resolução, mas esse, desenvolvido em 1981, e todos os que se seguiram são dotados de uma ponta de prova ou sonda “[...] a única ferramenta capaz de obter imagens tridimensionais de altíssima resolução”.

³⁴ Ao observarem o surgimento de uma corrente elétrica entre uma ponta finíssima de tungstênio e a superfície de uma amostra de platina, denominado por eles de corrente de tunelamento, “que só pode ser explicada com base na mecânica quântica, uma teoria sobre os fenômenos que ocorrem no diminuto mundo dos objetos com dimensões de átomos e moléculas” (Zanette&Caride, 2000, p.34), os dois pesquisadores acrescentaram a essa ponta um sistema que permitiu a ela se deslocar sobre a amostra estudada, inventando assim o chamado STM. (*Op.cit.*). “A ponta e o substrato onde se deposita a amostra ficam ligados por um circuito. Aplica-se uma tensão elétrica no circuito e abaixa-se a ponta do microscópio até quase encostar na amostra. É ‘quase’ imperceptível ao olho humano, pois a distância entre a ponta e a amostra chega a alguns nanômetros. Pois os elétrons, que só deveriam passar da amostra para a ponta se as duas estivessem encostadas, simplesmente pulam pelo ar mesmo - tunelam -, fechando o circuito entre a ponta e a amostra, e criando uma corrente com uma voltagem infinitamente pequena, da ordem de alguns nanoampéres [...] Com o microscópio de efeito túnel, passou-se a enxergar os átomos, antes jamais vistos, e, melhor ainda, conseguiu-se manipulá-los. Certo que dizer ‘enxergar’ átomos chega a ser uma licença poética, pois o que se vê é uma imagem simulada da variação da corrente elétrica. O levantar e abaixar da ponta do microscópio é uma operação que exige precisão muito além do que qualquer mão humana ou mecânica possa alcançar. Esse trabalho é feito pelos cristais piezelétricos, como o quartzo, que se expandem ou encolhem quando recebem tensão elétrica (sim, mexem-se apenas alguns nanômetros). Há três cristais: o do eixo z (que se move para cima e para baixo), o x (para frente e para trás) e o y (para a esquerda e para a direita). Quando a ponta do microscópio começa a varrer a amostra, movendo-se nos eixos x e y, o eixo z fica na mesma. Porém, quando a ponta encontra uma pequena montanha pela frente, ou seja, um átomo mais alto que os outros, a voltagem da corrente elétrica aumenta, pois a distancia em relação à amostra diminui. No modo de operação mais comum, o de voltagem constante, o eixo z deve, portanto, receber uma alteração de tensão, para que se contraia e suspenda a ponta do microscópio de modo a fazer a voltagem retornar ao valor prévio. A variação da tensão do cristal z resulta num gráfico, que é transformado em imagem - está pronta a fotografia dos átomos. Obviamente, o microscópio de efeito túnel só funciona com amostras de materiais condutores ou semicondutores; do contrário, não haveria passagem de corrente elétrica” (Cardoso, 2005, p.2-3).

Além disso, [esses microscópios] podem medir propriedades físicas da superfície da amostra - entre elas condutividades, distribuição de cargas elétricas, atritos microscópicos, elasticidade, dureza, rigidez, microfluorescência e índice de refração. Podem também estudar propriedades relacionadas ao eletromagnetismo da matéria, como por exemplo, as paredes de domínios elétricos e magnéticos. (Zanette&Caride, 2000, p.34)

Em pouco mais de 20 anos, após a criação do microscópio de efeito túnel, os homens desenvolveram uma grande família de instrumentos conhecida por SPM (sigla, em inglês, para microscópios de varredura por sonda), mais eficientes em termos técnicos e mais baratos³⁵, como, por exemplo, o AFM (sigla, em inglês, para microscópio de força atômica)³⁶, o SNOM (sigla, em inglês, para microscópio óptico de varredura de campo próximo), além de uma grande diversidade de outros aparelhos cuja finalidade é determinada pelo estudo que se quer fazer.³⁷

Em seus princípios, a “física quântica”, sendo a *expressão ideal da máquina-ferramenta-automática de precisão quântica* (capaz de captar os elétrons, prótons, nêutrons, fótons, etc...), afirmava, distintamente da física clássica, que não era possível medir entidades quânticas (elétron, nêutron, fótons, etc.) *por sua posição e seu momento* (pelo produto de sua massa por sua velocidade) e muito menos o estado de uma *única entidade quântica*, pois as leis da física obrigariam a ter um conjunto muito grande delas (idealmente infinito).³⁸ Poderia-se medir apenas probabilidades de a medida fornecer os vários valores possíveis para as grandezas relevantes³⁹; assim, ainda que fosse possível medir uma única unidade

³⁵ “Hoje, a tecnologia por trás dos SPM permite estudar diretamente forças entre átomos e moléculas em suas mais amplas variações, bem como forças de atrito, elétricas, magnéticas e químicas. O maior impacto dessa tecnologia é possibilitar a observação de estruturas em escala atômica no espaço real. E isso vale tanto para materiais condutores de eletricidade (como no caso do STM) quanto os isolantes elétricos, além de todos os tipos de materiais difíceis de estudar com microscópios eletrônicos. Outra vantagem desse tipo de equipamento é a sua capacidade de operar à temperatura ambiente, na presença de ar, o que reduz consideravelmente seu custo de construção e operação. Há também a possibilidade de repetir várias vezes a experiência nas mesmas condições, pois a amostra, além de não ser danificada pela experiência, dispensa técnicas sofisticadas de preparação prévia”. (Zanette&Caride, 2000, p.34)

³⁶ Gerd Binnig “inventou” “[...] uma ponta de microscópio capaz de enxergar qualquer coisa. Ele acoplou à ponta um pequeno fragmento de diamante, que contorna os átomos da amostra exercendo uma pressão pequena o suficiente para não destruí-la. É o microscópio de força atômica (AFM, em inglês). Conforme o fragmento de diamante se move, quando encontra saliências, move-se também a ponta, criando-se então, imagens como no SIM. Mais importante do que ver átomos é a possibilidade de movê-los, um a um. Isso acontece quando se aplica uma tensão elétrica muito forte entre a ponta do microscópio e a amostra - um átomo salta e gruda na ponta. Se a polaridade da corrente for invertida, o átomo volta para baixo com força, ficando encravado naquele ponto”. (Cardoso, 2005, p.4).

³⁷ Para ler mais sobre a importância e as especificidades técnicas de cada aparelho, ver Zanette&Caride (2000), Valadares (2005).

³⁸ Para a física clássica - que é expressão ideal da máquina-ferramenta-automática que tem como limite a alteração da forma exterior do objeto, o conhecimento das propriedades físicas macroscopicamente, o *conhecimento da natureza* - “uma partícula tem seu estado bem determinado por sua posição e seu momento (o produto de sua massa por sua velocidade). Com base apenas nessas duas grandezas, é possível prever, em um determinado instante, os resultados de qualquer medida efetuada sobre ela” (Dadidovich, 2004, p.24). Sempre se pode supor de acordo com a física clássica (que interpõe fenômenos macroscópicos) a possibilidade de medir um sistema de modo que a perturbação causada seja desprezível (*Op.cit.*).

³⁹ Donde a importância que Wiener (1954) atribui a Boltzmann e Gibbs, “mais do que a Einstein, Heisenberg ou Planck, à primeira grande revolução da Física do século XX” (Wiener, 1954, p.12). Boltzmann e Gibbs introduziram “[...] a estatística na Física de maneira muito mais completa, de sorte que a abordagem estatística se tornou tão válida não apenas para sistemas de enorme complexidade, mas inclusive para sistemas tão simples quanto o de uma única partícula num campo de força”. “A estatística”, continua Wiener, “é a ciência da distribuição, e a distribuição tencionada por esses cientistas modernos não dizia respeito a grande número de partículas similares, mas às várias posições e velocidades a partir das quais um sistema físico poderia ter início. Por outras palavras: no sistema newtoniano, as mesmas leis físicas se aplicavam a uma multiplicidade de sistemas que se iniciavam a partir de uma multiplicidade de posições e momentos. Os novos estatistas lançaram inédita luz sobre este ponto de vista. Mantiveram, na verdade, o princípio segundo o qual se poderiam distinguir certos sistemas de outros pela sua energia total, mas rejeitaram a suposição de que sistemas com a mesma energia total pudessem ser distinguidos com nitidez, indefinidamente, e descritos para sempre por meio de leis causais” (Wiener, 1954, p.10).

quântica, o que permitiria medir seu estado, “qualquer medida feita sobre um sistema quântico necessariamente perturba seu estado e, portanto, o altera” (Dadidovich, 2004, p.24).

A explicação dos fenômenos quânticos até então observados corroborava se tratar sempre de *conjuntos de sistemas* - envolvendo a idéia de probabilidade - e jamais de *sistemas individuais*. No entanto, a pioneira idéia de R. Feynman, manifestada numa palestra, em 1959, sobre a possibilidade de manipulação individual de átomos - considerada absurda à época - é expressão de que já havia condições materiais para tanto. Nos anos 1940, por exemplo, já tinham sido desenvolvidos (certamente por conta da segunda guerra mundial) métodos de visualização especiais, baseados em microscópios que não utilizavam luz visível, aumentando o poder de resolução dos microscópios eletrônicos.⁴⁰ Dessa maneira, o problema de manipular individualmente os átomos foi, somente, levantado porque as condições materiais para resolvê-lo já existiam ou estavam em vias de se desenvolver. Inversamente, a palestra de Feynman foi “resgatada na história” porque a questão de manipular individualmente os átomos se mostrou em vias de ser resolvida materialmente. Cerca de vinte anos mais tarde, a “invenção” de Gerd Binnig e Heinrich Rohrer (em 1981) e a de todos os microscópios seguintes puderam se concretizar porque se tinha à mão uma qualidade de trabalhadores e de aparelhos, trabalho vivo e trabalho objetivado, desenvolvidos do *sistema de laboratório* até então (esses trabalhadores são pesquisadores dependentes, de domínios diversos da ciência em que reina a divisão - burguesa - intelectual do trabalho). Com a constituição progressiva dessas condições e a necessidade crescente de dominar o *sistema de átomo em conjunto*, cada vez mais se desenvolveram, diferenciando-se, em ramos dependentes diversos a) a produção de microscópios e aparelhos relacionados à decomposição da matéria (química, biologia, etc.) e b) o *processo social de produção*, por meio do *general intellect* - ambos em direção ao *sistema de laboratório* que *decompõe partículas quânticas individualmente*.⁴¹

Como vimos, o laboratório da grande indústria constituiu base técnica imediata do *sistema de laboratório*. O primeiro produzia os fenômenos e as máquinas com que o segundo eliminava, melhor dizendo, “*superava incorporando*”, a forma de produção da existência (como elemento fundante), *que transformava instrumentos para operar a forma exterior do objeto*. A produção da existência no laboratório se erguia sobre uma base que lhe era inadequada. Atingindo certo estágio de desenvolvimento, o próprio laboratório removeu a base que encontrou pronta e a aperfeiçoou, em sua forma antiga, para estabelecer nova base adequada a seu modo de produção. (O autômato orgânico era de tamanho

⁴⁰ Esses equipamentos passaram a usar feixes de partículas cujo comprimento de onda é menor do que o da luz visível, passando a ser denominado SEM (sigla, em inglês, para microscópio de escaneamento) ou TEM (microscópio eletrônico de transmissão) (Zanette&Caride, 2000).

⁴¹ “Desde que o pesquisador americano Don G. Eigler, do laboratório da IBM na Califórnia, nos Estados Unidos, alinhou átomos de xenônio para escrever o logotipo da empresa sobre uma superfície de níquel, começou uma verdadeira corrida entre os cientistas para conseguir o melhor domínio da técnica de arrancar átomos de um ponto e colocá-los em outro” (Cardoso, 2004, p.4). No que diz respeito aos sistemas de laboratório da química e da biologia, o avanço para a nanotecnologia não *partiu* desses domínios, embora o pareça, porque “a nanociência e a nanotecnologia dedicam-se a desvendar essas novas propriedades e a explorar as suas múltiplas aplicações tecnológicas. É importante ressaltar, todavia, que, além dos tamanhos dos objetos, o que define a nanociência e a nanotecnologia são os novos procedimentos utilizados para se investigar o nanomundo. O estudo e a utilização de objetos nanométricos vêm de longa data. Os químicos, por exemplo, há muito estudam como os átomos se juntam para formar moléculas. Deste modo, a química deveria ser incorporada, pelo menos em parte à nanociência. O mesmo poderia ser dito em relação à biologia, uma vez que os organismos vivos são formados a partir de objetos nanométricos, ou seja, a partir de moléculas complexas ou de arranjos ainda mais complexos dessas moléculas. A nanoquímica vai muito além dos procedimentos tradicionais adotados pelos químicos para sintetizar compostos, como misturar, agitar, aquecer, filtrar, destilar, etc. Os químicos, além desses métodos, utilizam agora técnicas mais elaboradas. Inicialmente uma molécula é projetada. Para fabricá-la, são utilizados métodos que envolvem manipulação da matéria na escala atômica, não raro em ambiente de ultra-alto vácuo. Para que a molécula adquira as propriedades desejadas, um novo átomo ou conjunto de átomos ligados deve ser adicionado em um ponto predeterminado da molécula. É como se os químicos brincassem de lego, com a diferença de que as peças básicas agora são átomos e moléculas. Enfim, o que caracteriza tanto a nanociência quanto a nanotecnologia é a adoção de técnicas que permitem tanto visualizar como manipular a matéria na escala nanométrica, incluindo a manipulação direta de átomos”. [sublinhado nosso] (Valadares, 2005, p.53)

monstruoso e o laboratório seu apêndice, e os aparelhos do laboratório, constituintes do *sistema de laboratório*, não puderam se desenvolver livremente antes de se decompor os elementos do *sistema de máquinas*, precisamente a *máquina-ferramenta-automática de incursão atômica* - os espectroscópios disponíveis na época). Do mesmo modo, o *sistema de laboratório* ficou amarrado em todo o seu desenvolvimento, enquanto seu instrumento de produção característico, a própria *máquina-ferramenta-automática de incursão atômica*, devia sua existência à própria máquina (instrumento característico da grande indústria), que dependia das velhas formas de força motriz, de meios de transmissão e da máquina-ferramenta-automática de incursão clássica. Colocando-se de lado o barateamento/economia que esses aparelhos - desenvolvidos por tal processo - significam, a constituição do *sistema de laboratório* e sua penetração em novos ramos da grande indústria ficaram na dependência exclusiva de uma classe de trabalhadores, dotados do *general intellect*, que aumentou lentamente em virtude da natureza intelectual de suas ocupações e do incipiente grau de desenvolvimento geral, pois era necessário investigar/decompor a constituição da matéria. As duas Guerras Mundiais contribuíram para acelerar esse desenvolvimento. Além disso, em certo estágio, o *sistema de laboratório* entrou, tecnicamente, em conflito com a base que possuía, o *laboratório*: na pesquisa sobre os elementos mais simples constitutivos à matéria não bastava continuar examinando a superfície das coisas, simplesmente medindo o peso, a cor ou as propriedades químicas superficiais; foi preciso penetrar profundamente no coração das substâncias.

Resulta, hoje, que a nanotecnologia diminui crescentemente as dimensões dos seus próprios aparelhos (seu motor, os mecanismos de transmissão e a máquina-ferramenta-automática); há maior complicação e diversidade, há ajustamento mais minucioso dos elementos componentes à medida que a *máquina-ferramenta-automática de incursão quântica*, o microscópio eletrônico de tunelamento por varredura, se desprende do modelo em que se baseava, o microscópio eletrônico; há aperfeiçoamento do sistema automático e aplicação cada vez mais inevitável de novos materiais: todas essas condições surgem historicamente e sua solução encontra limitações que só o trabalhador coletivo pode transpor, superando-as qualitativamente. A grande indústria e o laboratório, a ela agregado, não podiam produzir objetos como *nanotubos de carbonos*⁴² e *dendrimeros*⁴³.

Com o *sistema de laboratório*, a revolução no modo de produzir acaba se propagando aos laboratórios e à produção industrial. É o que se verifica principalmente nas redes de laboratórios e nos laboratórios que, mesmo isolados pela divisão social do trabalho - sob as condições burguesas de produzir - constituem fases de um processo global.⁴⁴ Assim, sistemas de laboratórios de nanobiotecnologia tornam necessária a reordenação da produção em setores relacionados a biossensores, bioreceptores, farmácia, ambiental e alimentos; sistemas de laboratórios de tecnologia e nanofabricação de Silício, a reordenação de métodos de microeletrônica visando a nanoeletrônica, circuitos à base de nanotubos, caracterização de nanocircuitos; laboratórios de espectroscopia, a reordenação da produção na agroindústria; sistemas de laboratórios de nanodispositivos fotônicos, a reordenação de setores relacionados à fotônica, optoeletrônica e sensores óticos, etc. *A revolução no modo de produção, com o sistema de laboratório, pois se manipula individualmente os átomos, torna, sobretudo, necessária uma revolução nas condições gerais do processo social de produção, isto é, nas formas de forças motrizes, dos meios de transmissão e da constituição estrutural dos materiais, em outras palavras, na constituição do modo como os homens*

⁴² São estruturas nanométricas de átomos de carbono rearranjadas pelos homens. Os nanotubos são folhas de grafite que se enrolam para formar tubos com diâmetro variando entre 2 e 5 nm; apresentam várias propriedades inéditas, a começar pela resistência mecânica. Eles permitem fabricar sólidos quatro vezes mais leves e pelo menos cinco vezes mais resistentes que o aço gerando aplicações relevantes para a indústria mecânica. (Valadares, 2005). Possuem propriedades elétricas podendo atuar com característica semicondutora, condutora e até supercondutora, e condutividade térmica.

⁴³ Moléculas aplicadas em *drug delivery*, portando outras moléculas por auto-organização hierárquica, o que permite a limpeza de ambientes através do aprisionamento de íons metálicos.

⁴⁴ A exemplo ver o anexo1 de Campana (2006), que traz o quadro sobre as redes identificadas e os laboratórios existentes no Brasil, que tem por fonte o Ministério da Ciência e da Tecnologia, *Proposta do GT criado pela portaria do MCT nº 252 como subsídio ao Programa de desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia* do PPA 2004-2007).

*produzem sua existência. Assim como a forma da força motriz (vapor) e dos meios de transmissão (válvulas) da velha sociedade, (a partir da qual os homens, produzindo sua existência, produziam máquinas automáticas - como elemento fundante - que operavam a forma exterior do objeto), não pôde, de modo nenhum, satisfazer às necessidades do sistema de laboratório em decompor conjuntos de sistemas de partículas quânticas, (pois exigiam uma nova configuração do trabalho social - intelectual -, um novo grau de intercâmbio e interconexão entre as diferentes áreas da ciência, com sua concentração de aparelhos - num espaço físico livre do domínio da grande indústria - e de uns poucos trabalhadores - providos do *general intellect*, isto é, da ciência, o produto do desenvolvimento histórico geral em sua quinta-essência abstrata -), sendo, por isso, inteiramente transformada; do mesmo modo, as atuais formas de força motriz (energia elétrica) e de meio de transmissão (transistores), legados do período anterior, podem e devem, atualmente, ser superadas⁴⁵, em suas limitações, pelo sistema de laboratório, - que decompõe individualmente o sistema do átomo, com sua capacidade de transformar a produção em grande escala a partir do objeto (o átomo, no termo individual) -, para que a grande indústria continue a expulsar trabalhadores do processo de produção e a deslocar massas de capital de um ramo de produção para outros (de maior composição orgânica), de uns países para outros, com as novas conexões que cria no mercado mundial - processo esse resultado do desenvolvimento dos elementos já constituídos durante a primeira metade do século XX.*

O sistema de laboratório, atualmente, ao se apoderar da *decomposição individual do sistema de átomo*, trata, assim, de *criar sua base técnica adequada*, se autonomizando do *general intellect* que se funda na *forma objetiva* do “trabalho vivo” (na “subjetividade” dos trabalhadores - os “cientistas”) e que decompõe o sistema de átomo individualmente. Note-se, novamente, que os homens se vêem cada vez mais unidos e libertos na medida em que as forças produtivas são criadas (*aufhebung*) pelos homens, pois delas se separam, cujo resultado é a eliminação (emancipação) do homem como força produtiva direta relacionada ao *tempo de trabalho*. Vejamos o tipo de desenvolvimento que está posto, atualmente, pela decomposição individual do sistema de átomo, segundo o professor Frederic Levy, membro da Academia Interdisciplinar de Ciências de Paris (AISP).

Um dos pontos fundamentais do domínio da nanotecnologia é, portanto, a criação de uma máquina, de tamanho molecular, capaz de duplicar-se a si mesma. A fim de poder criar outras coisas, que não cópias de si mesma, é, logicamente, indispensável que ela possa igualmente fabricar outras estruturas! Os programas de pesquisa têm, portanto, por objetivo, fabricar uma primeira versão dessa nanomáquina, chamada montador [nota do autor: ‘Empregamos o termo “montador”, do português, para o conceito “assembleur”, do francês, visto não se contar, ainda, com tradução para o mesmo’]. Tal montador seria uma máquina contendo alguns milhões de átomos, com pelo menos um braço manipulador, que permita colocar os átomos - um por um -, no lugar desejado. Uma vez fabricada essa primeira versão, embora que de forma bastante rudimentar, mesmo que em poucos exemplares, será possível, então, fabricar outras mais evoluídas, e criar as primeiras nanomáquinas...Estão atualmente em curso diferentes vias de acesso a esse primeiro montador, entre elas destacamos: - a construção direta, com a ajuda dos microscópios, anteriormente mencionados; - a automontagem, por engenharia genética. No entanto, é importante frisar que nenhuma dessas vias está perto de, num futuro bem próximo, atingir os resultados almejados! Deve também ser dito que nenhum montador foi ainda concebido em todos os seus detalhes. Vários elementos de nanomáquinas foram propostos: alguns deles para a parte “ativa” de uma ferramenta que manipula os átomos, servindo à fabricação; outros, para o deslocamento do braço manipulador, etc. Restam, ainda, numerosos problemas de engenharia a serem resolvidos! O modo de comando de tal montador não é senão proposto muito esquematicamente. (As futuras gerações de montadores poderão ter seu próprio “nanocomputador” permitindo seu comando, contudo, os montadores das primeiras gerações deverão, de um modo ou outro, ser comandados por controle remoto). Os mecanismos de “fornecimento” de átomos e moléculas que

⁴⁵ A exemplo, “o que atualmente limita a possibilidade de utilização de células solares em grande escala é seu custo de fabricação e seu rendimento, dois problemas que a nanotecnologia deverá estar em condições de resolver sem dificuldade”. (Levy, 2000, p.14)

servirão de material para construção do montador, igualmente ainda necessitam de estudos...Por outro lado, os microscópios atuais podem manipular alguns átomos, mas dificilmente tem-se em vista utilizá-los para fabricar diretamente uma máquina que contenha vários milhões de átomos...A automontagem por engenharia genética permite utilizar instrumentos modernos de manipulação de pedaços de DNA. Assim, diversos laboratórios tiveram sucesso na fabricação de estruturas, criando e ligando vários segmentos de DNA entre si. Talvez seja possível criar um primeiro montador constituído de pedaços de DNA. Todavia, a leitura de trabalhos em curso revela que, o modo como isto seria feito, está ainda pouco claro...Uma via de investigação ligada a essa área é a da pesquisa com os fulerenos. Os Senhores talvez já conheçam essas moléculas de carbono, recentemente descobertas, e que deram o Prêmio Nobel a Richard Smalley, um dos principais promotores da Nanotecnologia Molecular. São numerosas suas aplicações, entre elas o melhoramento de ferramentas de manipulação de átomos. No momento, pesquisadores tentam atualizar métodos de produção industrial dessas estruturas. Finalmente, uma direção de pesquisa paralela é aquela que trata da concepção computacional de estruturas moleculares, de nanomáquinas e de nanocomputadores. Tais trabalhos têm vários objetivos, entre eles: tentar assegurar o funcionamento dessas nanomáquinas e debruçar-se, desde já, sobre os problemas de engenharia a serem resolvidos quando dos primeiros montadores disponíveis. Esses poucos e descoordenados exemplos de pesquisas em curso são uma pequena amostra da atividade intensa e perturbadora existente atualmente nesta área. Numerosos documentos encontram-se disponíveis na Internet [...]. Foi, por exemplo, formada, na Internet, uma equipe de pesquisa internacional, cujo trabalho relaciona-se com todos os aspectos do desenvolvimento de um nanocomputador (concepção de materiais e hardware, técnicas de comunicação, confiabilidade, aplicações, etc.). (Levy, 2000, p.11-14)

A condição essencial de produção para a fabricação da primeira versão de uma *nanomáquina* capaz de duplicar-se a si mesma é a construção direta, por meio dos microscópios anteriormente aludidos, e a automontagem por engenharia genética. Esses dois elementos já estão postos, mas, ao mesmo tempo, é necessário produzir os vários componentes dessa *nanomáquina*, resolver muitos outros problemas de engenharia e avançar nas pesquisas relacionadas à atualização dos métodos de produção industrial dos *fulerenos* (moléculas de carbono de numerosas aplicações, entre elas o melhoramento de ferramentas de manipulação de átomos). Os financiamentos para pesquisa aumentam exponencialmente e os programas descrevem, de modo cada vez mais direto, as técnicas e os objetivos da nanotecnologia.⁴⁶ A “migração de cérebros”, de homens que se reproduzem com salários, se assenta sobre uma nova base material em constituição.

Temos afirmado que os aparelhos do *sistema laboratório* constituem a síntese diminuta do “sistema de máquinas” da grande indústria, com a distinção de que esses aparelhos se destinam a *compreender a estrutura da matéria*. O *sistema de laboratório* primeiro decompõe os *sistemas de partículas quânticas em seus conjuntos* e agora decompõe o *sistema do átomo em sua individualidade* efetivando a possibilidade da construção de *nanomáquinas auto-reprodutoras*. Atentando para a composição de uma *nanomáquina* propriamente dita, vemos que nela reaparece o “autômato orgânico”, mas em tamanho nanométrico, evidentemente, e de forma muito modificada.

No *sistema de laboratório*, a organização do *processo de trabalho social* é puramente objetiva. É a combinação da materialidade com o *general intellect*, expressão *ideal* dessa materialidade para ela mesma (se se quiser, é a combinação da objetivação do *general intellect* com o *general intellect* que se põe *idealmente*), pois é o produto do desenvolvimento histórico geral em sua quinta-essência abstrata. Por isso mesmo, o *general intellect* nada tem de subjetivo, com sentido de “imaterial”. Entretanto, aparece e não

⁴⁶ No Brasil, em 2004, o orçamento para desenvolvimento da área de nanociência e nanotecnologia prevê investimentos oficiais de R\$ 8,7 milhões. Até 2007, segundo o PPA, esses investimentos devem totalizar quase R\$ 80 milhões. É pouco, quando comparamos os investimentos realizados por países desenvolvidos nesse segmento. Os Estados Unidos, por exemplo, investiram algo em torno de US\$ 1,5 bilhão no ano passado nessa área, sendo US\$ 900 milhões do governo e US\$ 600 milhões da iniciativa privada (Brazil, 2004, p.4).

aparece como subjetivo para o trabalhador individual, visto que esse se faz e não-se-faz alienado do caráter social do processo de produção. O caráter cooperativo do processo de decomposição da matéria é uma necessidade técnica imposta pela natureza do próprio objeto de trabalho que se expressa pela objetivação no mais alto grau do *general intellect* - como sabemos, esse último já tinha sido, historicamente, objetivado (materializado ou expressado) nas máquinas da grande indústria. O caráter cooperativo do laboratório vinculado à grande indústria, na medida em que estava determinado *pela máquina-ferramenta-automática de incidência sobre a forma exterior dos objetos*, pois se limitava a aperfeiçoar os instrumentos de trabalho, nunca poderia *efetivar materialmente* (objetivar) o *general intellect como ideiação* (e não “idealização”). Só o caráter cooperativo do *sistema de laboratório* poderia fazê-lo objetivamente, pois tem no sistema de aparelhos, que decompõe a matéria, o organismo de produção inteiramente objetivo que o trabalhador encontra pronto e acabado como condição material da produção.

Agora os homens se propõem a decompor o próprio *sistema de laboratório*. O objeto de trabalho, a matéria em si, ao se converter em *nanomáquinas auto-reprodutoras* (conscientes, autônomas) e produtoras de nova materialidade, *exige a supressão ou superação incorporando* (e não a “substituição”, pois não estão em condições de igualdade) *das forças naturais* e do *general intellect* para que os homens possam se apropriar do sistema atômico não em seu conjunto, mas em termos individuais, isto é, da existência dos próprios homens, individualmente em si. Isso acontece somente através do *ato teleológico do ser social*, isto é, da união dos homens (mesmo que para a produção do capital) que se transforma (*aufhebung*) *ser para os homens*, o qual efetiva a emancipação humana. Toda a, assim denominada, *história mundial* nada mais é do que o engendramento do homem mediante trabalho humano, *vir-a-ser* da natureza humana; é o nascimento do homem por meio de si mesmo, do seu processo de geração - é, por isso, a natureza efetiva do homem, mesmo que venha a ser por intermédio do *sistema de laboratório*, isto é, ainda que em figura estranhada -, a fim de que o “homem” se torne objeto da *consciência sensível*, e a carência do “homem enquanto homem” se torne necessidade (Marx, 2004); quando a força produtiva do trabalho social e sua forma particular se apresentarem na qualidade de *força produtiva e forma* não somente *dos homens, do trabalho materializado, das condições materiais (objetivas) do trabalho*, mas fundamentalmente *para os homens*. A união entre os homens

[...] se opõe aos próprios trabalhadores individuais como algo *estranho* e *coisificado*, como simples forma de existência dos meios de trabalho deles independentes e que os dominam, e do mesmo modo esses meios os enfrentam na forma visível, simples, de material, instrumento etc. nas funções de *capital* e, portanto, de *capitalista*. (Marx, 1987, p.386)

Entretanto, é por essa via, *a objetivação da essência humana* (tanto do ponto de vista teórico, quanto prático), *que se exprime sistema de laboratório*, que os homens fazem *ser humanos, materiais, sociais e espirituais* - numa palavra, o homem que *é social* -, os *sentidos* (não só os cinco sentidos, mas os sentidos espirituais, os sentidos práticos da vontade, do amor, etc.) *do homem* e o *sentido humano*, correspondente à riqueza inteira do ser humano e natural. O *sistema de laboratório* é, a natureza humanizada, a existência do seu objeto por onde *vem-a-ser* a humanidade dos sentidos e, ao mesmo tempo, *o fazer homens, em si, separado do para si*.

O *sistema de laboratório* é o *vir-a-ser* do *homem social* (da rica individualidade ao ser), historicamente, a síntese da supressão concreta do homem como força produtiva, como trabalho e capitalização (propriedade privada), pois nele estão postas a) a *manufatura*, a *grande indústria* e a *quinta-essência abstrata do produto do desenvolvimento histórico geral* como exteriorização do homem, b) a apropriação do sistema atômico/molecular, dos sistemas quânticos, individualmente e c) para além, a possibilidade de os próprios homens, individualmente postos, se relacionarem com o produto do seu trabalho exteriorizado, desmistificado e humanizado.

Referências bibliográficas

- AUED, Idaletto Malvezzi. Capital e emancipação humana: o ser social. In: AUED, Bernadete W. (Org.). *Educação para o (des) emprego: ou quando estar liberto da necessidade emprego é um tormento*. Petrópolis, RJ: Vozes, 1999. p.109-131
- _____. *Alienação, maquinaria e grande indústria moderna em Karl Marx: ou de como o homem se liberta do trabalhador*. Programa de Pós-graduação em Sociologia, Unesp, mar-2005. (Tese de Pós-Doutorado) (Texto Inédito).
- _____. *Transcendência (aufhebung), alienação, manufatura e maquinaria em Karl Marx; ou de como o homem supera sua desumanização e faz-se homem plenamente desenvolvido*. Programa de Pós-graduação em Sociologia, Unesp, jun-2005a. (Tese de Pós-Doutorado) (Texto Inédito).
- _____. *Transcendência (aufhebung), alienação, manufatura e maquinaria em Karl Marx; ou de como o homem supera sua desumanização e faz-se homem plenamente desenvolvido*. Programa de Pós-graduação em Sociologia, Unesp, jun-2005b. (Tese de Pós-Doutorado) (Texto Inédito).
- BARRETO, Leo. *Primeiros passos da física moderna*. In: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala19/texto58.asp>
- BRAZIL, Carlos. *O que é, como evoluiu e em que dimensão se encontra a nanotecnologia*. In: <http://www.universia.com.br/materia>, 8/10/2004, p.1-5. (acesso em 16/7/2005).
- BORN M., AUGER P., SCHRÖDINGER E., HEISENBERG W. *Problemas da Física Moderna*. Ed. Perspectiva, São Paulo, 1969.
- CAMPANA, Samya. *A emancipação humana a partir da síntese histórica do desenvolvimento das forças produtivas sociais: o sistema de laboratório*. (Dissertação de Mestrado). Centro Sócio-Econômico, Programa de Pós-Graduação em Economia, UFSC, 2006.
- CARDOSO, Fátima. *Nanotecnologia: a arte de montar matéria átomo por átomo*. Documento de internet, mar/2005. <http://www.geocities.com/capacanaveral>. (acesso em 13/07/2005).
- DADIDOVICH, Luiz. Informação quântica: do teletransporte ao computador. In: *Revista Ciência Hoje*. v.35, n.206, jul-2004. p.24-29.
- ESTAÇÃO CIÊNCIA. *A Energia e as Transformações Químicas: a combustão química*. In: *Estação Ciência: Exposições apresentadas na Eciência*. USP.pp.4 (obtida no Google em jun-2005). <http://www.eciencia.usp.br/exposição> (acesso em 26/07/2005).
- FAUSTO, Ruy. *Marx: lógica e política*. Livro III. São Paulo: Ed.34, 2002.
- FERRAZ NETO, Luiz. *Primeiros Passos da Física Moderna* sd/b, p.1-3. In: *Primeiros Passos: evolução das idéias*. <http://www.feiradeciencias.com.br> (acesso em 05/08/2005).
- FEYNMAN, Richard. Há muito espaço lá embaixo: um convite para penetrar em um novo campo da física. 1959. In: *ComCiência: Nanotecnologia&Nanociência*. n.37, nov., 2002. <http://www.comciencia.br> (acesso em 16/07/2005).
- GROOTE, Jean-Jaques. Max Planck e o início da Teoria Quântica. In: *ComCiência. Física Moderna: mito e ciência*. n.20, mai., 2001. <http://www.comciencia.br>. (acesso em 05/08/2005).
- LATOUR, Bruno, WOOLGAR, Steve. *A vida de Laboratório: a produção dos fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.
- LEVY, Frederic. *Introdução à nanotecnologia molecular*. Conferência proferida na Academie Interdisciplinaire des Sciences de Paris (AISP). In: <http://supertrunfonet.tripod.com/trunfonticiadofuturo/id3.html>
- MARTINS, Roberto de Andrade. *A Física no final do século XIX: modelo em crise*. In: *ComCiência. Física Moderna: mito e ciência*. n.20, mai., 2001. p.1-8. <http://www.comciencia.br> (acesso em 05/08/2005).
- MARX, Karl. *O Capital: o processo global de produção capitalista*. Livro Terceiro, v.3, Tomo 1 (parte primeira). São Paulo: Abril Cultural, 1983a. (Os Economistas).
- _____. *Teorias da Mais-Valia*. Livro Quarto, v.1. 2ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1987.
- _____. *Elementos Fundamentales para la crítica de la economía política (Grundrisse) 1857-1858*. Livro 1, 16ªed. Mexico: Siglo Veintiuno editores, 1989.

- _____. *A Ideologia Alemã (L.Feuerbach)*. 9ª ed. São Paulo: Hucitec, 1993.
- _____. *O Capital: o processo de produção do capital*. Livro I, v.1 e v.2, 15ª ed. - Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- _____. *Manuscritos econômico-filosóficos*. Trad. Jesus Ranieri. São Paulo: Boitempo, 2004.
- MEES, C.E.K. *The organization of industrial scientific research*. McGraw Hill, New York, 1920 (Capítulo introdutório disponível em: www.inovação.unicamp.br/report/inte-kodak.shtml).
- PRADO, Eleutério. Pós-grande indústria: trabalho imaterial e fetichismo - uma crítica a A.Negri e M.Hardt. In: *Revista Crítica Marxista*. n.17, nov.2003. p.109-130.
- RUMJANEK, Franklin. Fronteiras da ciência: ética e desenvolvimento. In: **Ciência Hoje**, v.35, n.206, jul-2004. p.22-23.
- TOMA, Enrique E. *Química e nanotecnologia: é hora de despertar!* Edição especial Nanotecnologia. In: Informativo do CRQ - IV região. Jan-fev.2005 (versão resumida). www.crq4.org.br (acesso em 13/07/2005).
- THEIS, Thomas. *Washington Post*, 22 de febrero de 2004. *La inmensidad de lo mínimo: breve introducción a las tecnologías de nano escala*. In: GRUPO ETC. Documento de internet, jun.2004. www.etcgroup.org (acesso em 10/03/2005).
- VALADARES, Eduardo de Campos. *Aplicações da Física quântica: do transistor à nanotecnologia*. 1ªed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005. (Temas atuais de física).
- WIERNER, Norbert. *Cibernética e Sociedade: o uso de seres humanos*. São Paulo: Cultrix, 1954.
- WIKIPEDIA, Enciclopédia Livre. In: <http://www.wikipedia.org> (acesso em 13/07/2005, 16/07/2005).
- ZANETTE, Susana Isabel, CARIDE, Aníbal Omar. As novas imagens da matéria. In: **Revista Ciência Hoje**. v.27, n.132, jul-2000. p.32-38.