

## O processo de mudança tecnológica na mineração do século XIX: A reconstrução histórica da cadeia de inovações<sup>1</sup>

Tânia Maria Ferreira de Souza<sup>2</sup>

A visão do estágio tecnológico da mineração no mundo oitocentista deveria ter uma relação estreita com a história econômica da mudança tecnológica. Como Mokyr (1990) relatou, “*an essay on the economic history of technological change inevitably contains dates, names and places. By its nature, the tale of technological creativity requires citing who first came up with an idea and who made the critical revisions and improvements necessary for the idea to work.*”<sup>3</sup>

Por contemplar o mesmo enfoque, este artigo analisa a cadeia de inovações na mineração mundial sob a perspectiva histórica. Isso significa que inevitavelmente serão examinadas as mudanças tecnológicas ocorridas tais como as inovações em prospecção, perfuração e operações de desmonte aplicadas à mineração, assim como também os novos processos de concentração e separação dos minérios misturados (processos de trabalho nas minas subterrâneas – operações da mina – e o tratamento dos minérios obtidos).

Como se está analisando o setor mineral, é valioso observar que as duas premissas básicas em questão são as seguintes: 1) invenção e inovação são complementares; 2) a cadeia de inovações na mineração mundial foi sustentada por microinvenções.<sup>4</sup>

Tendo em vista a primeira premissa, este *link* complementar entre invenção e inovação é muito importante na mineração, devido aos aperfeiçoamentos cumulativos

---

<sup>1</sup> Este texto fecha um ciclo de artigos já publicados, todos eles baseados na tese de doutoramento apresentada a F.F.L.C.H./USP e orientada pela Profa. Suely Robles Reis de Queiroz. A autora agradece os comentários do Prof Colin Lewis à versão preliminar do texto, apresentada em seminário na “*The London School of Economics*”, como integrante do programa sanduíche USP/LSE, em 2000, para pesquisa financiada pela CAPES. Agradece também os comentários ao relatório de qualificação da tese, feitos pelos professores João Antônio de Paula e Caio Boschi. A autora assume toda e qualquer responsabilidade pelos erros e omissões registrados.

<sup>2</sup> Doutora em História Econômica/USP, Profa. Adjunta do Departamento de Economia da PUC Minas.

<sup>3</sup> MOKYR, **The Lever of Riches: Technological creativity and economic progress**. New York: Oxford University Press, 1990. p.12.

<sup>4</sup> No que concerne a esta discussão, está sendo utilizada a moldura teórica de MOKYR (1990), para se entender a dinâmica da mudança tecnológica no setor de mineração de ouro. Quanto aos conceitos de invenção e inovação, ver também ROSENBERG, Nathan. Economic Development and the transfer of technology: some historical perspectives. **Technology and Culture**, n.4, v.11, out.1970, p.568-569 e BARBIERI, José Carlos; ALVARES, Antônio Carlos T. Invenções e Inovações Tecnológicas: conceitos e casos. **RV Economia, Rio Verde**, ano 4, n.7, nov.2001, p.8.

que conduzem a níveis mais altos de produtividade. Este gradualismo, que incorpora novas técnicas, significa que durante os estágios de implementação, invenções foram usualmente aperfeiçoadas, formatadas e modificadas em modelos que qualificam as pequenas mudanças elas mesmas como invenções. A difusão de inovações para outras economias, como se pressupõe ter ocorrido entre Inglaterra e Brasil, freqüentemente exigiu adaptações às condições locais e, em muitos casos, possibilitou maiores ganhos de produtividade como resultado do *'learning by doing'*. A idéia de mudança tecnológica gradual aponta para a segunda premissa que também está relacionada às peculiaridades do setor mineral: a distinção entre micro e macroinvenções que foi proposta por Mokyr (1990). Essa distinção pode ser aplicada à indústria de mineração mundial oitocentista como uma boa moldura para se entender o processo do *'learning by doing'*.

Segundo Mokyr (1990), microinvenções podem ser definidas como “ *the small, incremental steps that improve, adapt, and stream-line existing techniques already in use, reducing costs, improving form and function, increasing durability, and reducing energy and raw materials requirements* ”.<sup>5</sup> Elas são conduzidas, pelo menos em alguma extensão, por variáveis econômicas, tais como a lei da oferta e demanda, e podem resultar de uma busca intencional por aperfeiçoamentos. Por outro lado, as macroinvenções são mais difíceis de entender, porque elas não são guiadas por forças previsíveis e parecem ser governadas pela sorte e gênio individuais, tanto quanto por forças econômicas. A maior parte delas resultaram de um golpe de gênio, sorte ou obra do acaso e por isso a dificuldade de explicar seu tempo de ocorrência. Nesse contexto, alguns sistemas tecnológicos, tais como as minas, são complexos e interrelacionados, e assim dificilmente abrigariam macroinvenções, devido ao caráter dramático das mudanças por ela contempladas. Nesses tipos de sistemas, melhorias são consideradas passo a passo, devido à resistência de outras partes. Na mineração, por exemplo, a estrutura que funcionou em um lugar pode não funcionar em todo lugar se as condições topográficas, climáticas ou do solo forem diferentes. Isso é a razão de se adaptar uma técnica para torná-la mais universal. Em resumo, como Mokyr ressalta: “ *gradual change will be the rule when the complementary technical support system is inadequate to support macroinventions* ”.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> MOKYR, J. op.cit. p. 13 e 295.

<sup>6</sup> MOKYR, op.cit., p.296.

Seguindo essa linha de raciocínio, pode-se argumentar que **microinvenções** têm dominado as mudanças na mineração mundial desde a Revolução Industrial, a despeito de exemplos de **macroinvenções** que transcenderam as especificidades das condições locais, tais como a aplicação de ar comprimido como uma fonte de energia nas minas.

Na verdade, numa perspectiva histórica mais rigorosa, desde a Idade Média os europeus já revelaram uma sede de aprendizado tecnológico, culminando na importação do Oriente de várias técnicas valiosas para o período subsequente de efervescência industrial. A despeito de os estudiosos do assunto nem sempre concordarem sobre quais inovações a Europa importou do Oriente, quais ela desenvolveu independentemente e quais foram deduzidas por ambos de uma fonte comum, devido ao caráter das evidências, Landes (1994) ainda argumenta:

Os europeus da Idade Média, e mais ainda seus filhos, eram aprendizes inveterados – sobretudo de tecnologia. Sem dúvida, a história da difusão cultural no período pré-moderno é obscura; os especialistas desse campo apóiam-se maciçamente num material iconográfico descontínuo e ambíguo e em indícios filológicos traiçoeiros. Ainda assim, parece claro que a Europa importou do Oriente, durante um período de séculos, toda uma gama de técnicas valiosas, por vezes, fundamentais: o estribo, o carrinho de mão, a manivela (que convertia o movimento recíproco em movimento giratório), a pólvora, o compasso, o papel e, muito provavelmente, a imprensa. Muitas delas vieram originariamente da China que, em vários momentos, durante as dinastias Tang (618-907) e Song (960-1279), desfrutou da tecnologia e da organização econômica mais avançadas do mundo.<sup>7</sup>

No que tange às mudanças tecnológicas graduais e à importância das microinvenções complementares, desde cerca de 1450, especialmente na Europa Central, a mineração entrou numa era incomum se comparada a qualquer fase anterior, caracterizada por uma infundável sucessão de aperfeiçoamentos anônimos marginais.<sup>8</sup> Essa conclusão foi baseada no livro de Georgius Agricola – *De Re Metallica* –, uma publicação póstuma de 1556, que descreve a maquinaria utilizada para o reboque e transporte do minério, a construção de túneis e mesmo a amostragem da qualidade do minério.<sup>9</sup> O livro ainda lida com problemas técnicos em mineração que parecem ser universais: inundações, explosões e transporte vertical.

*Germans led Europe and the world in mining technology, developing the transmission of waterpower to high-elevation mines from waterwheels in the valleys by means of overland rod systems; applying gunpowder for blasting*

<sup>7</sup> LANDES, **Prometeu desacorrentado: transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa Ocidental, desde 1750 até nossa época**. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994. p.33-34.

<sup>8</sup> MOLENDÁ apud MOKYR, op. cit., p.63.

<sup>9</sup> MOKYR, op.cit., p.63 e 64. MOKYR ressalta que “*De Re Metallica*” é um dos mais valiosos e detalhados livros de engenharia de mineração jamais escrito e Georgius Agricola o nome latino de Georg Bauer.

*rocks; pioneering the use of rails for underground transport; using horse-operated treadmills to run windlasses; and above all developing a variety of pumping devices (that were subsequently applied to fire fighting and other uses).*<sup>10</sup>

Da mesma forma, outro memorável trabalho sobre minérios e técnicas de mineração, digno de reconhecimento, é o livro de Lazarus Ercker, na verdade um manual sobre experimentos (ensaios) e amostragem, publicado em 1574. Além disso, deve ser ressaltada a contribuição dos cientistas – de Galileu a Newton – para tecnologia da mineração, na medida em que eles estavam preocupados com questões como circulação de ar, segurança nas minas, bombeamento de água, mineralogia e tratamento, e o rebocamento de carvão e minério das minas.<sup>11</sup>

Para complementar, entre o grande número de livros técnicos publicados após 1450 que mostravam como a tecnologia foi difundida através da Europa, Mokyr (1990) destacou também “*De Machinis Libri*”, escrito pelo engenheiro siamês Marianus Jacobus Taccola. Esse livro, que resumiu o estado da arte na tecnologia de máquinas em meados do século XV, teve uma grande influência nessa época. Mas estas máquinas descritas por tantos livros não foram o padrão de equipamento utilizado na Europa renascentista. Para Mokyr (1990), a distância entre a técnica melhor praticada e a técnica média era grande, ou seja, o custo de produção e adaptação para as máquinas complexas era alto e muito diferente em termos do meio ambiente em que elas poderiam operar de forma satisfatória. Pode-se inferir que os principais determinantes dos aumentos na produtividade do trabalho em empresas de engenharia e mineração foram resultado de melhores ferramentas, economias de escala e uma organização do trabalho mais eficiente. Entretanto, é importante ressaltar que a tecnologia da Renascença teve uma significativa contribuição para a indústria de mineração, qual seja suas realizações na engenharia hidráulica, principalmente referente às bombas e, por conseguinte, às inevitáveis inundações nas minas.

Uma outra importante contribuição para o setor em termos dos efeitos na tecnologia foi o surgimento das nações-estado entre 1450 e 1750. Muitos governantes adotaram políticas para estimular novas tecnologias, com destaque para a proteção dos direitos de propriedade do inventor. Segundo Mokyr (1990), esta idéia de garantir ao inventor uma posição de monopólio temporário através de uma patente para

<sup>10</sup> MOKYR, op.cit., p.64. A superioridade germânica em mineração será devidamente considerada assim que for apresentada uma análise comparativa do estado desta arte em outros países.

<sup>11</sup> MERTON apud MOKYR, op.cit., p.64.

recompensar a atividade inventiva surgiu dos costumes e práticas na atividade mineratória. Os empreiteiros de mineração eram agraciados com direitos de propriedade sobre as descobertas de novos recursos minerais. Este tipo de arranjo foi também adotado em outras atividades e eventualmente aplicado a novas invenções.

Para o período 1750-1830, chamado por Mokyr (1990) de anos do milagre (“*years of miracle*”), deve ser enfatizada a importância da máquina a vapor, vista como a quintessência inventiva da Revolução Industrial. Essa importância tem uma relação intrínseca com a mineração porque a energia a vapor foi largamente usada no setor. Para ilustrar esta questão, registre-se que a Grã-Bretanha tinha cerca de 828 dessas máquinas operando nas minas de carvão e outras 209 operando nas minas de cobre e chumbo por volta de 1800. A patente de Watt expirou em 1800 e a máquina foi aperfeiçoada por outro inglês, Richard Trevithick, que foi capaz de construir uma máquina com uma pressão dez vezes maior que a pressão atmosférica. Nesse âmbito, segundo Rosenberg (1976), sobre a relevância do papel de James Watt, alguém pode ser tentado a conferir-lhe apenas o *status* de “mero aperfeiçoador do invento”, embora tal afirmação seja comparável a classificar Napoleão como um simples soldado ou dizer que Bach foi só um músico da Corte. “*That is to say, Watt’s improvements on the steam engine transformed it from an instrument of limited applicability at locations peculiarly favored by access to cheap fuel, to a generalized power source of much wider significance*”<sup>12</sup>. Como esta máquina era menor em tamanho e mais econômica que a máquina de Watt, ela foi adaptada com sucesso ao suporte das máquinas de bombeamento para drenagem das minas da Cornualha. Essas máquinas de alta pressão foram conhecidas como máquinas da Cornualha ou cónicas. Além disso, poderiam também ser usadas em meios de transporte como barcos e carruagens sem cavalos.

Em termos de tecnologia de energia, a segunda melhor alternativa era a energia hidráulica, ainda uma importante fonte na Grã-Bretanha em 1830. Os aperfeiçoamentos que foram registrados principalmente após 1750, estiveram associados com as constantes melhorias na compreensão da teoria da hidráulica. Durante os anos da Revolução Industrial, o setor mineral foi realmente marcado por um progresso gradual e poucos avanços. O carvão exerceu o principal papel na economia, devido ao seu uso em locomotivas e na metalurgia e porque uma população crescente e mais próspera o demandava para o aquecimento doméstico. Da mesma forma, registre-se a importância

---

<sup>12</sup> Ver ROSENBERG, Nathan. **Perspectives in Technology**. New York: Cambridge University Press, 1976, op.cit., p.192.

e o uso das máquinas a vapor no bombeamento de água das minas. A única invenção radical na mineração do carvão foi a lâmpada de segurança, inventada por Davy em 1815. O progresso na mineração pode ser ilustrado pelo aperfeiçoamento da ventilação nas minas, a introdução de trilhos no transporte subterrâneo e o redesenho de galerias com maior grau de segurança. No que tange às condições de segurança, por volta de 1830, ventiladores movidos a vapor passaram a ser utilizados, reduzindo em grande escala os riscos de explosão. Entretanto, Mokyr (1990) ressalta que a produção na indústria de mineração aumentou principalmente porque mais recursos foram alocados para ela, e não porque novas técnicas permitiram que com os recursos existentes se produzisse mais barato e melhor.<sup>13</sup>

Considerando o século XIX, a mineração estava entre as indústrias que exerceram um papel central nos estágios iniciais da Revolução Industrial, mas somente experimentou um desenvolvimento individualizado após 1830. A maior dificuldade técnica foi superada quando as vantagens do ar comprimido foram reconhecidas. Entre 1849 e 1856, as ferramentas pneumáticas de mineração para a escavação subterrânea foram usadas pelos mineradores e até o fim do século ferramentas movidas a vapor substituíram a pá e a picareta. Na mineração, essa segunda metade do século, foi caracterizada por rápidas transformações da tecnologia manual para a mecânica. Como resultado disso, as operações de mina eram conduzidas por uma hierarquia de trabalhadores qualificados, usando tradicionais ferramentas manuais e métodos empíricos, que foram aperfeiçoados na Europa e praticados relativamente da mesma forma desde a Antigüidade. O desenvolvimento das máquinas a vapor na Grã-Bretanha tiveram um significativo papel no processo de drenagem das minas Setecentistas. Em geral, entretanto, somente ricos veios e filões poderiam ser explorados lucrativamente usando os tradicionais métodos de mineração europeus. O progresso estável na aplicação econômica da máquina a vapor para operações de mineração somente seria alcançado pelas descobertas tecnológicas após 1850. Os Estados Unidos vieram a dominar os campos dos equipamentos e engenharia de mineração, mas ninguém pode negar a contribuição européia.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> MOKYR, op. cit., p.110.

<sup>14</sup> Mokyr ressalta que a Grã-Bretanha, a economia mais competitiva à época, obteve uma vantagem inicial na inovação, mas após 1870, perdeu-a para o continente europeu. Ele ainda argumenta, citando MOWERY (1986), que provavelmente os oligopólios alemães menos competitivos e as grandes firmas que emergiram nos Estados Unidos ao fim do século XIX podem ter proporcionado um melhor ambiente para a mudança tecnológica. Ver MOKYR, op. cit., p.268.

Ao fim do Oitocentos, as inovações tecnológicas baseadas no requisito mecânico e químico já tinham sido elaboradas e aplicadas em algum grau aos distritos mineratórios ao longo do mundo. O que significava um aumento da mecanização e a adoção massiva do tratamento químico dos minérios? A resposta é simples. Isto significa que seria possível manipular o bem mineral a custos substancialmente menores por trabalhador e por unidade, como também tratar tanto minérios de baixos teores como também minérios rebeldes. Pode-se argumentar que a enorme mudança tecnológica na mineração mundial teve alguma receptividade e impacto na mineração aurífera nas Minas Gerais oitocentista, principalmente através da difusão do *know-how* britânico neste setor. Faz-se mister considerar a cadeia de inovações em termos de prospecção, excavação e operações de desmonte quando aplicáveis ao setor e novos processos de concentração e separação de minérios acoplados. Um exame das mudanças tecnológicas nessas áreas ajudará a determinar quais novas técnicas e maquinaria entraram em uso prático à época.<sup>15</sup>

### 3.2.1 Prospecção e Exploração

Segundo Newell(1986), minérios metálicos originam-se como corpos de minério inorgânicos que foram quebrados e dispersados ou estão depositados em fraturas ou fissuras em rochas metamórficas da crosta terrestre. As estruturas dos minérios são infinitamente variáveis, revelando-se de veios e filões a massas de rocha brutas ou blocos de minerais disseminados mais ou menos uniformemente. Minério aproveitável refere-se à ocorrência que contém alta e suficiente concentração de mineral a ser trabalhado lucrativamente sob as condições existentes. Em outras palavras, para justificar a sua exploração o depósito mineral deve ser economicamente viável. Por outro lado, se minérios pobres contêm um percentual menor de metal, geralmente só podem ser trabalhados economicamente mediante tecnologia específica para seu tratamento.

A exploração de depósitos minerais no período anterior a 1870 dependia mais da habilidade geológica e da informação oral do que de inovações tecnológicas. Os depósitos minerais passíveis de ser trabalhados e localizados próximos à superfície eram achados por exame de amostras superficiais ou rochas afloradas. Determinar as

---

<sup>15</sup> Esta análise do estágio da mineração mundial será baseada na sua totalidade no capítulo 2 do trabalho de NEWELL, D. **Technology on the frontier: Mining in Old Ontário**. Vancouver: University of British Columbia Press, 1986.

propriedades físicas dos vários minerais - resistência/dureza, densidade e reações químicas a testes de fusão - ajudava a identificá-los onde não estavam prontamente aflorados. Testes (ensaios químicos) foram criados para determinar o teor ou proporção de vários metais em minérios e para indicar se um dado minério metálico compensaria o tratamento uma vez que fosse minerado. Somente por limpar a superfície e construir minas para testes ou por amostragem de minérios nas galerias e túneis das minas trabalhadas, os operadores poderiam com segurança assegurar a extensão e forma dos depósitos minerais e decidir sobre a continuação dos trabalhos de aprofundamento.<sup>16</sup>

De um modo geral, olhando para os prazos e riscos envolvidos em explorar depósitos passíveis de ser minerados, a indústria de mineração durante o século XIX desenvolveu inovações muito úteis para se detectar e delimitar depósitos minerais abaixo da superfície. Entretanto, somente no século XX, com as descobertas da geofísica, maiores avanços seriam alcançados.

A maior inovação em prospecção, durante esse período, foi a perfuratriz exploratória (perfuratriz diamantada), uma broca rotativa com fluido circulante que permitia aos operadores testarem as características e valor das minas e pedreiras, por esgotar as amostras centrais dos estratos formados em grandes profundidades. O núcleo do depósito poderia ser analisado para indicar o tamanho do corpo do minério e a quantidade de metal recuperável em cada tonelagem de minério. Esta foi uma inovação adaptada da primeira perfuratriz prática com ponta de diamante desenvolvida por um engenheiro francês, Rodolphe Leschot, em princípios de 1860, ao cavar um túnel de estrada de ferro no Monte Cenis entre França e Itália. O princípio de empregar diamantes industriais envolvidos em ferramentas de excavação, com cortadores em hélice, foi empregado também simultaneamente na Inglaterra. Essa máquina teve numerosos aperfeiçoamentos para transformar uma grande inovação em uso prático. Os melhoramentos fizeram a perfuratriz diamantada altamente adequada para mineração, e informações sobre ela se espalharam através de publicações populares e profissionais especializadas. Apesar de seus aperfeiçoamentos e do uso com sucesso em algumas minas, sua popularidade na indústria de mineração foi limitada pelas primeiras dificuldades tais como: uma máquina complicada e sensível de operar que freqüentemente emperrava ou quebrava; sua manutenção difícil provocava atrasos devido à falta de material para reparar defeitos no próprio local de trabalho. Em resumo,

---

<sup>16</sup> NEWELL, op. cit., p.15.



a perfuratriz diamantada poderia somente ser eficaz na medida da habilidade e conhecimento de seus operadores, e seus altos custos de operação tornaram seu uso antieconômico em muitos casos.

### 3.2.2 - Extração<sup>17</sup>

É fundamental ressaltar, neste tópico, que a mineração subterrânea é sempre mais complexa, demanda tecnologia especializada e constitui um processo intensivo em trabalho na extração dos minerais, porque envolve altos custos. Se o corpo do minério for maior e próximo à superfície, ele pode ser deslocado por métodos de abertura da mina – o que significa cavar o minério de uma grande abertura na superfície. Por outro lado, na mineração subterrânea é necessário perfurar galerias ou cavar túneis e empreender trabalhos laterais numa série de níveis para acessar o depósito mineral. Algumas vezes também é necessário sustentar a abertura em solo instável pela colocação de vigas de madeira e então, finalmente, extrair o minério.

Como a mineração consiste de extrair o depósito mineral incluso em formações rochosas sólidas por meio de minas abertas, trincheiras ou minas subterrâneas, esta atividade requer ferramentas especiais e, algumas vezes, trabalhadores especializados. Trabalhos de superfície eram tradicionalmente desempenhados por broqueiros, que extraíam o minério produtivo e a rocha morta ao nível da superfície por escavação e explosão, e carreiros (pião de mina), que recolhiam o minério e carregavam os carros/caminhões. As tarefas auxiliares subterrâneas, em conexão com perfuração e escavação, são: carregamento e transporte, ventilação, desaguamento da mina, sustentação das paredes da mina com vigas de madeira e manutenção de rotina, sendo exercidas pelos ‘trabalhadores do dia’ ou ‘operários’.

Sobre o processo de extração é importante observar três aspectos: **geração e transmissão de energia, perfuração e desmonte**. Primeiramente, devido às peculiaridades do setor mineral, durante o século XIX a tendência foi multiplicar a energia através de meios mecânicos. Isto consistiu de aplicar novas fontes de energia e sistemas mais eficientes de transmissão de energia para operações de mineração. Enquanto o uso da corrente foi limitada às operações subterrâneas de mineração, porque ela não poderia ser transmitida a qualquer distância sem considerável perda de eficiência, ela foi empregada na superfície para substituir a tradicional força dos cavalos

---

<sup>17</sup> Baseado em NEWELL, op. cit., p. 17.

para a extração do minério do interior da mina para a superfície e seu transporte. Ela também foi usada para bombeamento de água nas minas neste mesmo século, e por volta de 1850 ela foi aplicada para acionar perfuratrizes. Como Newell (1986) ressalta, “*the turning point came in the late 1860s and early 1870s when compressed air was introduced as the the first efficient, practical means for replacing human and animal labour in underground operations*”.<sup>18</sup> Esse tipo de energia – ar comprimido – foi empregado na Inglaterra por volta de 1863 para acionamento de máquinas de drenagem, corte e transporte de carvão para superfície, e ao final de 1860, ela foi aplicada com sucesso às perfuratrizes de explodir buracos. Então, o período final dos anos de 1880 trouxe experimentos aplicando eletricidade às operações de mineração nos Estados Unidos, Grã-Bretanha e França. Mas as minas de carvão eram realmente a área mais crítica de aplicação da eletricidade à mineração subterrânea, devido ao risco de incêndio proporcionado pelo gás do carvão.<sup>19</sup>

Em segundo lugar, deve ser considerado o maior foco da mudança tecnológica na indústria de mineração, ou seja, a área das perfuratrizes. Ela teve três principais propostas básicas: 1) garantir amostras de minério além da face da rocha exposta (prospecção); 2) fazer uma abertura num volume maior de rochas para inserir explosivos (desmonte); 3) cavar poços artesianos. A perfuração de minas e galerias e a abertura de túneis exigem a remoção de quantidades substanciais de rochas sem utilidade que são sempre chamadas de rejeito ou ganga pelos trabalhadores. Desde muito cedo no século XVIII, esta técnica de remoção de rochas mortas e escavação de minério foi desenvolvida a partir das trincheiras abertas pelo fogo ou caminhos abertos por picareta, martelo e talhadeira, até evoluir para operações de mineração que requeriam furar buracos manualmente por tentativa e, então, explodir a parede da rocha com pólvora. Segundo Newell (1986), a necessidade de aumentar a velocidade, a eficiência e, por conseguinte, a segurança no processo de extração da rocha conduziu a muitos experimentos. Como todas as ferramentas na mineração, uma perfuratriz de rocha prática resultou de muitos aperfeiçoamentos para se atingir uma ferramenta acionada mecanicamente, leve, compacta, simples, durável capaz de furar de verdade e perfurar buracos marcados em qualquer ângulo. O texto original da pesquisa que originou este artigo apresenta um quadro registrando uma pequena história da evolução

---

<sup>18</sup> NEWELL (1986), D. op.cit., p.18.

<sup>19</sup> Id., ibidem.

da perfuratriz de rocha. A partir do texto de Newell (1986) foi possível resumir as principais modificações introduzidas no equipamento, suas conexões com a utilização pela indústria de mineração e outros setores da economia e também a relação existente entre os projetos de túneis de estradas de ferro e os caminhos trilhados pela inovação tecnológica. Muitos aperfeiçoamentos no *design* das perfuratrizes de rocha foram completados ao se abrir túneis através das montanhas. Além do mais, a tendência observada durante esse período de tempo foi desenvolver brocas de minérios mais eficazes e capazes de ser acionadas tanto manualmente quanto por energia. Olhando para os exemplos de perfuratrizes produzidas ao final dos anos de 1870 e 1880, um minerador que empregasse brocas manuais à época poderia estar usando equipamento de furar relativamente moderno e avançado.<sup>20</sup>

A extração também exigiu melhoramentos nas técnicas de desmonte, cujo principal objetivo era reduzir o número de buracos abertos sobre a superfície trabalhada, para trazer maior tonelagem de rocha por explosão. Além de usar máquinas mais poderosas e eficientes para o desmonte, as minas deveriam usar dispositivos de detonação eficazes e desenvolver materiais de explosão poderosos, porém mais seguros de se operar. Segundo Newell (1986), o detonador à pólvora e o retardo Bickford, um confiável e flexível detonador desenvolvido por um trabalhador da Cornualha, foram empregados exclusivamente para explosão até que experimentos europeus com nitroglicerina nos anos de 1840 conduziram ao desenvolvimento de explosivos de alta potência.<sup>21</sup> No que concerne a esta questão, nitroglicerina era um explosivo mais poderoso que a pólvora, mas não era prático para a mineração e muito perigoso, devido ao seu líquido altamente volátil, com uma forte tendência a se decompor com o calor e o tempo<sup>22</sup>. O texto original também apresenta num quadro um pequeno sumário dos aperfeiçoamentos introduzidos nas técnicas de desmonte.

Newell (1986) ressalta, ainda, que em contraste com a maior parte da nova tecnologia em mineração, não houve barreiras de capital para a disseminação dessa técnica da nitroglicerina em cartuchos; assim esperava-se que sua difusão fosse rápida e completa.

---

<sup>20</sup> NEWELL (1986), D. op.cit., p.21.

<sup>21</sup> Id., ibid., p.22. Ressalte-se que detonadores confiáveis são muito importantes na mineração.

<sup>22</sup> A contribuição de Alfredo Nobel foi valiosa nesse contexto e seus sucessivos experimentos o levaram, em meados de 1870, a converter nitroglicerina líquida numa forma gelatinosa segura. Seu irmão havia sido uma vítima dos acidentes causados pela instabilidade da nitroglicerina. Como Alfred Nobel estava determinado a controlar o explosivo, então ele descobriu em 1866 como poderia ser controlado o seu poder integral de explosão. A dinamite foi usada na construção de túneis, estradas, poços de petróleo e pedreiras. Sobre o progresso na indústria química, ver também MOKYR, op.cit., p.119.

### 3.2.3 Concentração e Separação

A concentração e separação do minério foram as primeiras operações da mineração a serem mecanizadas, enquanto a extração do minério e dos resíduos foi a última. O tratamento é o estágio fundamental na mineração, porque o minério é trazido para a superfície, na maior parte das vezes, como uma mistura de partículas do mineral desejado com outros minerais, acrescido de uma quantidade diversificada de rejeitos de rocha. Esse fato exige um processo especial de separação do minério da rocha morta ou de outros minerais, dependendo de sua combinação primária na natureza. Havia dois tipos de processo para tratamento dos minérios metálicos: o primeiro foi o processo mecânico; o segundo foi o químico.

O processo mecânico envolvia a trituração do minério por esmagamento ou britagem para liberar o mineral metálico desejado para concentração e aglutinação em um moinho. Segundo Newell (1986), antes de 1890 a capacidade dos moinhos não excedia cerca de 500 t por dia de trabalho. O processamento da moagem envolvia separar os vários minerais por remoção da mais valiosa parte quanto possível deles, de acordo com seu teor, e esse estágio requeria contínuos turnos de mão de obra não especializada e semi-especializada sob estreita supervisão todo o tempo. Os moinhos estavam localizados junto às minas ou então bem próximos a elas porque há suficiente prova de que é mais barato concentrar o minério *run-of-mine*, eliminando a escória, o mais rápido possível, antes de transportá-lo.

Considerando os metais preciosos, Newell (1986) enfatiza que os minérios de ouro e prata livres eram ligeiramente diferentes desde que fossem processados, de acordo com suas características, em moinhos comuns, nos quais o minério fosse esmagado e o metal extraído diretamente da pasta produzida por meio da amalgamação. De modo geral, o processo de concentração do minério em qualquer estágio dependerá grandemente das peculiaridades do mineral: sua natureza, características de sua ocorrência num dado espaço e escala de produção. O principal objetivo seria obter a mais alta recuperação econômica que foi determinada pela natureza e padrão do processo de concentração. Tal objetivo exigia a mecanização do equipamento e o aumento de sua capacidade e economicidade.

As operações dos moinhos envolvem a trituração do minério em minúsculas partículas por meio do esmagamento e da moagem até que cada partícula útil seja de fato separada da escória. Em termos técnicos e baseando no clássico trabalho de

Agrícola – *De Re Metallica* – também citado em Newell (1986), os métodos de esmagar e moer foram parcialmente mecanizados desde o século XVI. A operação de britagem foi aperfeiçoada **dos** moinhos movidos manualmente ou pela força animal (em plantas maiores ela era realizada por britadores-pilões acionadas pela água) **para** os rolos compressores/cilindros no século XIX.

Os pilões da Cornualha, os quais eram saxônicos em sua origem, foram uma valiosa contribuição britânica para a indústria de mineração mundial. Eles foram introduzidos na Cornualha no século XVII, mas remodelados nas mãos de trabalhadores de moinhos nos anos de 1850, nos campos de mineração da Califórnia. Esses pilões californianos não somente tinham partes intercambiáveis mas sua estrutura era mais durável e de maior capacidade que os pilões tradicionais. Os pilões a vapor também foram introduzidos no mesmo período e os aperfeiçoamentos desenvolvidos simultaneamente na Inglaterra e Estados Unidos. Eles foram especialmente importantes porque permitiam esmagar maior tonelagem de minério num espaço limitado.

Da mesma forma, pilões tiveram uma outra versão cujo principal uso foi na trituração e amalgamação de minérios de ouro e prata livres oxidados, com o uso de quartzito. De acordo com Newell (1986), uma proliferação destes ‘*britadores quaternários*’ apareceu no mercado norte americano durante os anos de 1850 e 1860.

Quanto à estrutura dos pilões, durante o século XIX, eles raramente foram empregados sem o uso também de rolos e trituradores, e em muitas circunstâncias, os dois substituíam os pilões juntos. E as inovações britânicas exerceriam um importante papel uma vez mais e os cilindros cónicos foram o equipamento padrão em muitos moinhos. Os cilindros cónicos, que eram considerados uma inovação de princípios do século XIX, tinham acoplados cilindros gêmeos de ferro revestidos com ferro fundido a frio. Seus cilindros foram aperfeiçoados pelos americanos, após 1860, para otimizar as taxas de redução do minério, serem mais fortemente construídos e para rolar a velocidades maiores que seus modelos originais. Tais melhoramentos também foram produzidos para o cilindro Krom.<sup>23</sup> Da mesma forma, os aperfeiçoamentos no maquinário de britagem da Cornualha foram seguidos por outras inovações, como novos esmagadores que também operavam no princípio de pressão gradual. Muitos deles foram aperfeiçoados nos distritos de mineração americanos, após os anos de 1850 e, em termos de eficiência, merecem destaque o ‘*britador de madíbula*’ e o ‘*britador giratório*’.

---

<sup>23</sup> NEWELL, op. cit. p.26.

O próximo estágio da moagem é a pulverização. Ela era acompanhada pela rotação, em que moinhos de fina pulverização operavam no princípio do atrito e da percussão ou uma combinação dos dois. Newell (1986) ressalta que o mais tradicional dos moinhos de cilindro foi o *arrastra*, que empregava o antigo e simples processo de dragagem de pedras pesadas, por meio de um cilindro cheio de minério moído para ser retido. Outro tradicional exemplo foi o moinho chileno, similar ao *arrastra*, mas usando uma pedra de moinho estabelecida verticalmente para rolar em volta e através de um anel.<sup>24</sup> Durante os anos de 1850 e 1860, estes dois métodos de pulverização tiveram melhorias substanciais que os tornaram mais úteis para a pulverização de minérios. Esses moinhos foram especialmente úteis para o tratamento dos minérios porque eles poderiam ser acionados pela energia hidráulica ou pela força animal. No que tange aos metais preciosos, versões especialmente aperfeiçoadas das panelas de pulverização foram populares para a pulverização fina de ouro ou para minérios de prata, mais difíceis de tratar. Entretanto, nesse caso específico, o foco deveria ser a operação química da amalgamação de concentrados, mais que a ação mecânica do esmagamento.

Voltando à importância da pulverização como a operação responsável pela redução do minério a partículas do tamanho do sal ou da areia e pela liberação dos minérios da rocha original, esta separação ocorria de acordo com o tamanho ou composição química do fluido para o sólido. A principal experiência a otimizar a técnica de separação mecânica durante o século XIX envolveu a separação gravimétrica. Realmente, durante todo o século, diferenças naquele método de separação formaram a base para todo o processo de concentração. Em outras palavras, diferenças gravimétricas específicas entre minerais causam diferenças em seu comportamento, quando imersos na água, ar ou outro fluido. Devido a isto, foi necessário um método para separar a parte mais pesada do minério. O mais popular método para fazer isto envolvia a sedimentação em fluidos.

Para Newell (1986), até os anos de 1850, a lavagem para separar as partículas minerais da escória sem valor era feita por peneiras manuais, do começo ao fim, e jigues (leitos pulsáteis). A aplicação das tradicionais técnicas da Cornualha é confirmada mais uma vez através da separação das partículas minerais de várias densidades em espaços mais elaborados: em pias de lavar metais, caixas ou mesas de lavagem.

Com a busca constante por aperfeiçoamentos na última metade do século XIX, pretendia-se atingir níveis mais altos na eficiência da separação total e na capacidade e

---

<sup>24</sup> Id., *ibidem*.

velocidade dos separadores e concentradores que o padrão comum registrado à época. Além disso, pretendia-se, também, melhorar os métodos para a recuperação econômica de partículas finas de minerais, de material de terra mais fino, chamado rejeito/lama das mesas.

Newell (1986) ressalta, ainda, que a mais espetacular de todas as descobertas tecnológicas na separação do minério e concentração, a ocorrer antes 1890, se deu na área da separação gravimétrica da lama de areia fina. Um bom exemplo poderia ser a mesa giratória automática que foi desenvolvida para melhorar a tradicional bateia córnica. Um outro exemplo de progresso foi o vagonete, que diferia das mesas vibratórias, com sua superfície estacionária, em que os concentradores viajavam na parte mais alta de uma interminável e inclinada correia de transmissão de lona esticada numa esteira. Esse equipamento foi provavelmente baseado na máquina de tratamento de minério de um engenheiro civil Bretão, introduzida na Escócia para a recuperação de lama de concentrado de chumbo.

O processo químico, por sua vez, envolvia os processos de fundição e refinamento que eram necessários para converter o concentrado mineral em metal puro. Newell (1986) relata que como estes últimos passos tipicamente envolviam processos químicos e térmicos e requeriam consideráveis quantidades de combustível barato, eles exigiam trabalhadores altamente qualificados. Além do mais, estes processos provavelmente tinham de se estabelecer mais próximos às fontes de combustível, de mão-de-obra qualificada e do mercado, do que do sítio da mina.

O processo de amalgamação, dominante na mineração mundial desde o século XVI, constituiu-se em um processo para separação do ouro das areias enriquecidas, por meio da combinação com o mercúrio. Segundo Hussak (1900), através de uma operação ainda considerada primitiva, formava-se um amálgama<sup>25</sup>. Dessa mistura, então, retirava-se o ouro, volatilizando o mercúrio que, somente em uma pequena parcela, era regenerado por sublimação (transição da fase sólida para o vapor). O processo foi introduzido, pela primeira vez, no México em 1557, e difundido para toda a América do Sul por Dom Bartholomé de Medina.”<sup>26</sup>

Mas a amalgamação não era usada em todas as minas da Europa e muito menos na Alemanha, segundo o artigo do “The Quartely Mining Review”, reportando-se a um

---

<sup>25</sup> HUSSAK, Eugen. Riquezas Auríferas do Brasil. Tradução H. Carper A. de Souza. Rio de Janeiro: 1933 (Relatório Técnico do DNPM, 1900, não publicado).

<sup>26</sup> ON THE several modes of amalgamation as practised in the Hungariam and Tyrolese Mining districts, and in South America in *The Quartely Mining Review*, n. V, (April, 1831), p. 8.

tratado de metalurgia de princípios do Setecentos, considerado um dos melhores sobre o assunto. Isto porque existem minérios que não podem ser tratados por esse processo e a única saída é a fundição, aplicável a qualquer tipo de minério

As técnicas de fundição para muitas formas de minério metálico requeriam um tratamento preliminar por ustulação e calcinação à temperaturas abaixo de seus pontos de fusão. O maior desafio era, para Newell (1986), o estágio da ustulação que era trabalhoso, quente e exaustivo e tinha de transformar os minérios sulfetados e carbonatados em óxidos metálicos ou minérios fundidos. A técnica consagrada da ustulação em pilha, no sítio da mina, era o método mais usado e econômico quando minérios sulfetados estavam na forma de aglomerados, principalmente em distritos mineratórios novos e inexplorados, onde os proprietários da mina não gostariam de investir prematuramente numa planta física.

Olhando especificamente para o processo de fundição, os óxidos metálicos estavam sujeitos a determinadas temperaturas de fusão para liberar o oxigênio e tornar-se metal. Combustível carbônico (carvão vegetal, carvão de pedra/hulha ou coque) era utilizado para fornecer calor e também para agir como redutor na reação química. Dois tipos de processos diferentes foram usados por séculos para produzir metais como cobre, ferro gusa, chumbo e estanho. O primeiro deles foi a fundição por revérbero galesa do século XVI, que era similar àquela do método de ustulação galês. O segundo processo era o dos alto-fornos, que tinham uma capacidade maior e eram mais econômicos para operar que os revérberos galeses. Esse último foi acompanhado da tradicional técnica alemã de fundição de minérios de cobre e prata, acoplada ao chumbo num alto-forno carregado com uma íntima mistura de minério, redutor e fundente. Newell (1986) observa que, em contraste com os fornos de revérbero, os alto-fornos sofreram uma maior transformação nas mãos dos europeus e mais ainda dos americanos. Mas o maior progresso americano sobre o velho processo alemão foi o alto-forno com jato de água, que foi desenvolvido em 1870 e aperfeiçoado nas várias décadas seguintes. Este tipo de forno representou um grande avanço para ambos processos de ustular e fundir e exigia menos combustível por tonelada de minério que um forno de revérbero. Era, entretanto, mais adaptado ao tratamento de minérios brutos que de finos e concentrados.

O tratamento hidrometalúrgico foi a opção encontrada quando a fundição era muito cara e a amalgamação inadequada. Metais tais como o cobre, o ouro, chumbo e prata poderiam ser obtidos por mergulhar o metal em solução e então precipitá-lo da



solução. Para Newell (1986), os minérios de quartzo, acoplados ao ouro e prata que continham arsênico e antimônio, eram refratários e poderiam ser tratados somente por hidrometalurgia. Como resultado disto, os americanos aperfeiçoaram o processo de cloretação germânico para tratamento de ouro durante os anos de 1860. Mas tal processo também mostrou não ser o melhor em termos práticos, principalmente porque não poderia recuperar o ouro em muitos casos. *“A verdadeira solução somente seria encontrada com o processo de cianetação, descoberto ao final dos anos 1880 na Escócia e subseqüentemente aperfeiçoado nos distritos mineratórios de ouro e prata da Austrália e dos Estados Unidos”*.<sup>27</sup>

Ao se analisar a reconstrução histórica da cadeia de inovações, a Revolução Industrial ocorrida na Inglaterra Setecentista estava na gênese do processo pelo qual a produtividade permitiu o crescimento na oferta de metais preciosos como o ouro. O desenvolvimento das minas de carvão britânicas, juntamente com os portos e as rotas marítimas, e a aplicação da energia a vapor aos processos da manufatura e também à drenagem nos trabalhos das minas, introduziram uma nova era sem comparação com as anteriores.

Na verdade, o brilho do ouro tem dominado o mundo desde a antiguidade. A abundância crescente do metal precioso na Europa, de 1500 em diante, permitiu que a arte dos ourives surgisse para um alto nível de demanda. Os ourives e os banqueiros mercadores tornaram-se mais importantes nesse período de tempo devido ao afluxo do ouro em todo mundo. A multiplicação da oferta de ouro, nos séculos XV e XVI, conduziu a uma situação em que o controle do preço e do movimento desse metal precioso começou a fluir das mãos dos reis para as mãos dos banqueiros mercadores e dos ourives, nos maiores centros de comércio do mundo. Tal processo ocorreu na Inglaterra onde os ourives já atuavam como banqueiros desde o século XIV pelo menos.<sup>28</sup>

Sutherland ressalta que a criação do Banco da Inglaterra em 1694 agiu ao mesmo tempo como um freio sobre esse movimento imprudente de barras de ouro. Os constantes influxo e efluxo (entrada e saída) de ouro estavam ocorrendo e,

---

<sup>27</sup> NEWELL (1986), D. op.cit. p.33. Considerado de forma isolada o maior progresso técnico no processo de extração de ouro, o processo de cianetação foi descoberto em 1889 por dois médicos escoceses, Robert e William Forrest e um químico, John McArthur, que o patentearam. Aplicado em termos comerciais à região de Witwatersrand, na África do Sul, tal processo viabilizou a extração de 96% do ouro do minério. Ver TEMPLE, John. **Mining – An Internacional History**. London: Ernest Benn Limited, 1972. op. cit., p. 108.

<sup>28</sup> SUTHERLAND, C.H.V. **Gold: its beauty, power and allure**. Norwich: Thames and Hudson London, 1969. p.144-145.

simultaneamente, entravam moedas de ouro estrangeiras na Inglaterra, como também saíam moedas de ouro inglesas. Como resultado da necessidade, o refinamento puramente mercantil de grandes quantidades de ouro aumentava naturalmente. Entretanto, em termos de produção, os séculos XVI e XVII não foram realmente os anos mais significativos. Sutherland argumenta que *“se todo o novo ouro produzido durante os séculos XVI e XVII de todas as partes do mundo totalizava cerca de menos que 4 % da produção total, entre a descoberta da América por Colombo e os dias atuais, somente a produção dos séculos XVIII e XIX respondeu por algo próximo dos 30%”*.<sup>29</sup> Este aumento é realmente significativo, e seu impacto na história econômica daquele período merece também uma análise criteriosa, principalmente sob o enfoque tecnológico.

Para Eakin (1989), as tradições alemãs, mexicanas e cónicas dominaram a mineração mundial até o final do Oitocentos quando a indústria americana e sul-africana apareceram e mudaram o perfil tecnológico da mineração em todo o mundo.<sup>30</sup>

Em termos comparativos, deve-se analisar o papel exercido pelos mais tradicionais países mineradores para entender o seu estágio tecnológico. A Alemanha surgiu como carro chefe da mineração européia na Renascença, após a descoberta da prata da Saxônia, e seus mineradores, principalmente metalurgistas, tiveram uma grande contribuição para a indústria de mineração britânica. Eakin ressalta que a monarquia Tudor trouxe mineradores alemães para a Inglaterra do Seiscentos, objetivando desenvolver os depósitos de cobre e estanho da Cornualha. Nesse contexto, o papel-chave exercido pelos mineradores alemães parece inegável, a despeito dos poucos registros disponíveis sobre o estado comparativo da arte de minerar a época. William Keating, escrevendo sobre a arte da mineração e o seu estágio de desenvolvimento na Europa oitocentista, apresentou, em seu trabalho publicado em 1821, exemplos comparativos sobre o que ele considerava os três principais reinos especializados no setor: Inglaterra, França e Alemanha.<sup>31</sup>

---

<sup>29</sup> Id., *ibid.*, p.146.

<sup>30</sup> EAKIN, Marshall C. **British Enterprise in Brazil – The St. John d’el Rey Mining Company and the Morro Velho Gold Mine – 1830-1960**. Durham: Duke University Press, 1989. p.113-114.

<sup>31</sup> KEATING, W.H. **Considerations upon the art of mining, to which are added, reflections on its actual state in Europe and the advantages which would result from an introduction of this art into The United States**. Philadelphia: M. Carey and Sons, 1821. p.40-73. Ver ainda dois artigos do século XIX: B., F. Comparative view of celebrated mines in Europe and América. **The Quartely Mining Review**, n. 7, jul. 1835. p. 61-66, e TAYLOR, John. Lecture on the Economy of Mining. **The Quartely Mining Review**, n. 10 dez. 1837. p. 261-272.

- a) Para Keating (1821) os exemplos da **FRANÇA**, mostram que “*the mines in France are generally worked with great talent and regularity*”, confirmando a excelência dos franceses nesse segmento.

Um dos pontos fortes do estado das artes na mineração francesa era, segundo Keating, sua “Escola de Minas”, dotada de uma excelente infra-estrutura: um ótimo laboratório de química, uma soberba coleção de minerais, uma excelente biblioteca e um gabinete equipado com modelos de todo maquinário usado nas minas. Durante o verão, os estudantes viajavam em excursões dirigidas pelos professores, cujo destino era fatalmente uma mina que serviria de laboratório para o exercício prático das aulas ministradas durante o inverno. E não menos rigorosa era a seleção desses alunos. Os estudantes privilegiados – “Royal students” – eram escolhidos entre os melhores que completavam os estudos na “École Polytechnique”, considerada a melhor escola de matemática do mundo à época e recebiam um salário do governo para, após formados, integrarem o corpo dos engenheiros de minas do Estado. Estes pertenciam à primeira classe de alunos. A segunda classe era suprida, mediante rigoroso exame para vagas limitadas, por jovens rapazes desejosos de adquirir conhecimento na área, com a expectativa de um dia poderem supervisionar minas por si próprio. Uma questão interessante diz respeito à concessão do governo francês para que poucos estudantes estrangeiros pudessem integrar tal escola, mediante uma permissão especial do diretor geral das minas. Esse grau de liberdade, em estender a informação técnica gratuita a todos estrangeiros que visitassem Paris, foi assim ilustrada, por Keating:

*We arrived in Paris in 1817, a short time after the re-organization of the school, and very readily obtained the favour of attending the lectures and of studying in the laboratory of the school; in a word, we enjoyed all the privileges of the royal students, without being obliged to obey the regulations by which they were governed. Since that time, they have received, in the space of four years, eight foreigners; four of whom were from the United States, one from Peru, one from Switzerland, one from Poland, and one from Italy. (...) The time which most of these continued attached to the school was from two to three years, and all were allowed to remain as long as they chose.<sup>32</sup>*

Ao lado da “Escola de Minas” em Paris, o governo francês também implantou uma escola prática de mineração na região central dos campos de carvão de St. Etienne, visando à formação de mestres e capitães de minas.

- b) Para a **ALEMANHA**, o texto de Keating (1821) também revela o superior estágio técnico de suas minas.

---

<sup>32</sup> KEATING, op.cit.,p.43.

*In Germany, the art of mining seems to have arrived at its climax, and to have been dormant of late; at least, the improvements in latter days have not been great. The Germans detest all ideas of change; but at the same time that this will guard them against dangerous and foolish innovations it will also prevent them from making those improvements which the nature of things requires.*

*In alluding to the vast amount of ingenuity displayed in the construction of the machines employed at the German mines for bringing the ore raised into a marketable condition, it has frequently been observed by correspondents of the Mining Journal that the superiority of the German machinery, as compared with that in general use in Cornwall and Devonshire, is in a great measure attributable to the circumstance that, inasmuch as the German ores are, as a rule, considerably poorer than those of this country, there is a positive necessity for extracting every particle of ore in the most economic manner, in order to secure any profits at all.<sup>33</sup>*

Analisando a arte da mineração na Alemanha, Keating afirma, que em nenhum país do mundo, ela foi levada a cabo com tamanho grau de atenção e conhecimento científico. Na Alemanha, tal arte foi considerada como uma das mais honrosas e importantes profissões, recebendo por isto atenção especial e privilégios do soberano. Em certas regiões, o filho do mais orgulhoso aristocrata desempenhava as mesmas funções que o mais simples minerador, buscando o adequado preparo para estágios mais avançados da profissão. Os mineradores mais comuns tinham grandes privilégios e marcas de distinção – a título de exemplo, eles eram dispensados do serviço militar e vestiam um uniforme próprio que era usado há cinco séculos. De fato, na visão de Simonin (1868), os alemães haviam introduzido em suas minas uma verdadeira disciplina militar, seguida regularmente.

*In this legion of labour the work men are the private soldiers; the master-miners of overmen, the corporals; the engineers, the captains – all of whom wear uniforms that have been designed for ages.<sup>34</sup>*

A Academia de Minas de Freyberg, na Saxônia, criada em 1760, também merece destaque por sua grande reputação em toda Europa e especialmente na Alemanha, assim como a de Schemnitz na Hungria. A grande vantagem comparativa delas era a sua localização em meio a cerca de 130 minas, às quais o estudante tendo livre acesso para visitas, constituíam uma grande massa de informação prática a ser adquirida no curto prazo. E dado o tempo de exploração, essas minas acabaram revelando-se verdadeiros laboratórios de aprendizado; algumas delas vêm sendo exploradas desde o século XI e ainda estão plenamente ativas. Em resumo, nas palavras de Keating,

<sup>33</sup> **Mining, Journal**, nov. 12, 1864. p.801. p.801.

<sup>34</sup> SIMONIN, L. **Mines and miners; underground life**. Tradução e edição de H. W. Bristow. London: William Mackenzie, 1868, p. 458.

*the mines of Germany are more remarkable for the regularity with which the operations are carried on, for the scientific disposition given to the works, for the length of time that the mines are kept in activity, than for the wealth which they produce, or the profits which they afford. In the mines of Germany, we admire more the works of man than the gifts of nature.*<sup>35</sup>

c) As minas da **GRÃ-BRETANHA** também refletem as vantagens comparativas da hegemonia econômica britânica.

*In England, there is no school of mines. In the large cities, there are professors on the sciences connected with mining; but no practical information can be derived from them. Hence, the only means which the English have of improving themselves in mining, is to visit mines, and to work in them. This method is certainly very good; but the English directors are frequently too deficient in theory, especially as the literature of the English miner is very limited, and not very good. The nature of their education and occupations prevents many of them from attending to the study of the German language, which every miner ought to acquire, as no language offers such a valuable stock of books on this subject.*<sup>36</sup>

*But the great and ardent spirit of the British nation, their inventive power, the force of their genius, and their great turn for mechanics, will naturally cause them to excel in mining, as in every other art. Their mines are, it is true, too irregularly worked; but they are worked with profit, and that, after all, must be considered as the main object. Nowhere is the art more flourishing.*

Em nenhum país do mundo, diz Keating, as minas eram tão prósperas, importantes e produtivas, como na Grã-Bretanha. Os britânicos se destacavam pelo seu peculiar talento para inventar e aperfeiçoar tudo que aparece. Além disso, sua memorável porção de espírito público permitia que a mineração em suas mãos fosse o resultado da soma de esforços levados ao mais alto grau de perfeição<sup>37</sup>. Dentre os vários exemplos pinçados de suas regiões mineradoras mais nobres estão: as extensivas escavações subterrâneas, permitindo a formação de largos espaços para recebimento de

<sup>35</sup> KEATING, op.cit.,p.57.

<sup>36</sup> Considerando a posição britânica na mineração de ouro, CURLE (1905) compartilha a mesma visão de Keating, embora sua comparação tenha sido feita entre os Estados Unidos e o Império Britânico. Analisando as razões por que a mineração em seus vários ramos era uma indústria mais avançada e melhor conduzida nos Estados Unidos que no Império Britânico, o nível de educação também deve ser apontado como uma desvantagem. O argumento é que nos Estados Unidos havia pelo menos três universidades que geravam engenheiros de Minas altamente qualificados enquanto na Grã-Bretanha não havia nenhuma; a despeito da existência de uma “Escola de Minas” em Londres, ela não proporcionava o treinamento que as universidades americanas forneciam. Segundo a mesma fonte: “*Engineering has not been considered a proper profession in England socially (...)*”. Ver CURLE, J.H. **The gold mines of the world**. London: George Rotledge & Sons, Limited, 1905. p.17-18.

<sup>37</sup> No entanto há quem tenha criticado o espírito eminentemente prático do minerador britânico, principalmente aquele da Cornualha. Watson *apud* Calvert, assim se referiu aos mineradores responsáveis pelos “ensaios” no tratamento do metal precioso: “*The cornish assayers, generally, have not the slightest notion of the theories of chemistry or metallurgy, and their assays are not very accurate.*” Na mesma obra, Calvert ressalta a seguinte observação dos diretores da também companhia inglesa “National Brazilian Company: “*One of the greatest faults in the character of the cornish miner is the disinclination to sampling which is scarcely ever done unless the ground appears favourable for gold; (...)*”. Ver CALVERT, John. **The gold rocks of great Britain and Ireland, and a general outline of the gold regions of the world, with a treatise on the geology of gold**. London: Chapman and Hall, 1853, p. 312 e 315.

maquinários, como grandes máquinas-a-vapor; nas suas minas a carvão em Newcastle a lâmpada segura de Davy foi primeiramente introduzida, inibindo a ocorrência de inúmeros acidentes; a introdução de métodos mais modernos de ventilação; e finalmente, uma das mais interessantes aplicações da máquina a vapor, ou seja, a “locomotiva”, puxando dez ou doze vagões no transporte no entorno da mina.

Em termos comparativos, seriam valiosas ainda duas observações. Primeiramente, embora na Inglaterra, onde todos os empreendimentos industriais eram sustentados pelo setor privado, os engenheiros também recebessem o título de capitães nas minas metalíferas, não há indicativo que usassem uniformes, insígnias ou espadas, como na Alemanha<sup>38</sup>. Em segundo lugar, Moss (1927) observa que ao final do Oitocentos tinha-se a impressão de que a mineração britânica estava atrasada, em termos técnicos, em relação à norte-americana. Demonstrando sua discordância, argumenta que as condições de trabalho, como segurança do minerador britânico, eram superiores e que, nos Estados Unidos, as minas eram controladas por homens de negócios e não por engenheiros de minas treinados, cujo único objetivo era a produção de carvão independentemente da vida útil da mina ou da segurança dos trabalhadores. Para Moss, “*American and British mining technique cannot be compared except in the light of natural conditions*”.<sup>39</sup>

Em resumo, como Eakin (1989) relata, os cónicos (mineradores da Cornualha) tornaram-se os pioneiros em mineração subterrânea no século XIX, consolidando a supremacia britânica no campo da mineração. Ao mesmo tempo, os mexicanos transformaram a antiga técnica de amalgamação européia num processo industrial.<sup>40</sup> De fato, “nos princípios do século XIX, o processo mexicano de amalgamação, a química metalúrgica alemã e as técnicas cónicas de mineração subterrânea formavam a fundação da mineração moderna de metais”.<sup>41</sup>

Embora durante o *rush* do ouro no século XVIII, o Brasil fosse o maior produtor de ouro em barra, ao final do mesmo século a Rússia apareceu como líder na

---

<sup>38</sup> SIMONIN, op. cit., p. 460.

<sup>39</sup> MOSS (1927), K. Neville. **British mining practice, a comparison with American.** *The Times*, on October 8<sup>th</sup> 1927(Panfletos).

<sup>40</sup> Segundo Berstein, o famoso processo mexicano do pátio de amalgamação, que atingiu uma alta taxa de extração de prata de minérios de baixo teor, foi descoberto em 1555 por Bartolomeu Medina. Ver BERSTEIN, **The Mexican Mining Industry – 1890-1950: a study of the interaction of Politics, Economics and Technology.** Albany: State University of New York, 1965. p.10.

<sup>41</sup> EAKIN, op.cit. p.14.

produção<sup>42</sup>. A estagnação técnica e o declínio das reservas aluvionais foram os principais fatores a liderar a queda na produção brasileira. Após 1849, os grandes *rushes* na Califórnia, Austrália, Alaska, Canadá e África do Sul continuaram a mudar drasticamente o padrão de mineração mundial de ouro, além de liderar um enorme aumento na produção mundial. Nas palavras de Temple (1972), “*in the whole of the first century after Columbus discovered America the world output of gold was about 750 tons; in the second half of the nineteenth century it was 10,000 tons.*”<sup>43</sup> Após estes *rushes* do ouro da segunda metade do século, um novo estágio tecnológico emergiu e a era do garimpeiro, do capitão de mina da Cornualha e do mestre da amalgamação findou-se. Aplicando os princípios do conhecimento científico e tecnológico à indústria de mineração, o mundo testemunhou o aparecimento de um número crescente de geólogos e engenheiros de minas ao final do século. Nesse tocante, Eakin (1989) ressalta que historicamente o melhor exemplo foi a descoberta do ouro na África do Sul. Segundo ele, entre 1870 e 1930 a indústria de mineração de ouro mudou-se para uma era dominada pela mineração de empresas e experimentou uma revolução tecnológica baseada em três dimensões, descritas a seguir:<sup>44</sup>

**a) Mecânica:** Foi caracterizada pelos seguintes estágios:

- i) Nos anos de 1860 e 1870 a dinamite substituiu a pólvora no processo de desmonte;
- ii) A perfuração mecânica substituiu a perfuração manual;
- iii) Uso de gaiolas (*cages*) para içar homens e minérios;
- iv) Ao fim do século XIX a eletricidade começou a superar as máquinas a vapor e as rodas d’água, como as maiores fontes de energia nas operações de mineração;
- v) A maquinaria de britagem californiana passou a ter uma utilização generalizada na última metade do século;
- vi) A ventilação mecânica tornou-se muito difundida quando as minas atingiram níveis mais profundos.

<sup>42</sup> Na visão de Temple, essa liderança da Rússia com 3/5 da produção mundial somente seria ofuscada em 1848: “*Russian gold production, however, was totally eclipsed by spectacular gold discoveries in America, beginning with that in California in 1848*”. Ver TEMPLE, op. cit., p. 59-60.

<sup>43</sup> Para uma história detalhada dos *rushes* de ouro no mundo, ver SUTHERLAND, op.cit., p.154 –162 e também BLAYNEY, G. **The rush that never ended** – a history of Austrália mining. Hong Kong, Carlton: Melbourne University Press, 1978. No âmbito desta questão, há ainda uma grande bibliografia disponível. Ver também TEMPLE, ,op.cit.,p.59-76.

<sup>44</sup> EAKIN,op.cit., p.117.

**b) Metalúrgica e Química:** A maior inovação isolada foi o processo de cianetação que revolucionou o processamento de minérios, substituindo o processo de amalgamação que predominou na mineração aurífera desde o século XVI<sup>45</sup>. A patente do processo de cianetação em 1887 tornou possível a exploração das reservas da África do Sul porque permitiu aumentar as taxas de recuperação.

**c) Administrativa:** Esta revolução tecnológica levou ao fim a era do garimpeiro individual. A mineração tornou-se um empreendimento que exige grandes somas de capital, conhecimento e uma administração racional para ser lucrativo. Na mineração aurífera de finais do XIX e princípios do XX não havia mais lugar para o prospector individual, uma figura-chave na dinâmica do processo dos *rushes* oitocentistas<sup>46</sup>: “*Twentieth-century gold mining has no place for him; gold mining is dominated by the corporation relying on scientific prospecting and needing enormous capital investment to mine the gold once it is discovered.*”<sup>47</sup> No contexto da história da mineração, a África do Sul e um aspecto particular de suas minas de ouro na região de Witwatersrand constituem um valioso exemplo para se entender este novo estágio da indústria de mineração mundial:

*“With the development of this field gold came for this first time into the normal economic categories. Alluvial and quartz mining elsewhere has always been so speculative that no clear connection between cost of production and return could be predicted of it, but on the Rand gold mining is an industry rather than a gamble, and the economics results, not perhaps of a single mine, but of the field are calculable”.*<sup>48</sup>

## Referências Bibliográficas

BARBIERI, José Carlos; ÁLVARES, Antônio Carlos T. Invenções e Inovações Tecnológicas: conceitos e casos. **RV Economia, Rio Verde**, ano 4, n.7, nov.2001.

B., F. Comparative view of celebrated mines in Europe and América. **The Quartely Mining Review**, n. 7, jul. 1835.

<sup>45</sup> Sobre a contribuição mexicana, ver nota 40 neste artigo.

<sup>46</sup> No entanto, há quem advogue esta necessidade de capital já para meados dos anos 60 no século XIX. Segundo Spence, o arrefecimento do fluxo de capital para as minas norte-americanas naquele período simbolizava a real necessidade de métodos mais confiáveis de exploração que compensassem o investimento. Em suas palavras: “*The age of the individual entrepreneur, working with his hands on as small scale was at an end in many of the older, established camps. Capital was now vital for continuing the mineral industries after the preliminary work had been accomplished*”. Ver SPENCE, Clark. C. **British Investments and the American Mining Frontier, 1860-1891**. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1958. p. 7.

<sup>47</sup> TEMPLE, op. cit., p. 76.

<sup>48</sup> Lehfeltdt apud RICHARDSON, P. & VAN HELTEN, J.J. The development of the South African Gold-Mining Industry, 1895-1918. **Economic History Review**, n.3, v.37, ago. 1984. p.321-322.



BERSTEIN, **The Mexican Mining Industry – 1890-1950**: a study of the interaction of Politics, Economics and Technology. Albany: State University of New York, 1965.

BLAYNEY, G. **The rush that never ended** – a history of Austrália mining. Hong Kong, Carlton: Melbourne University Press, 1978.

CALVERT, John. **The gold rocks of great Britain and Ireland, and a general outline of the gold regions of the world, with a treatise on the geology of gold**. London: Chapman and Hall, 1853.

CURLE, J.H. **The gold mines of the world**. London: George Routledge & Sons, Limited, 1905.

EAKIN, Marshall C. **British Enterprise in Brazil – The St. John d’el Rey Mining Company and the Morro Velho Gold Mine – 1830-1960**. Durham: Duke University Press, 1989.

HUSSAK, Eugen. Riquezas Auríferas do Brasil. Tradução H. Carper A. de Souza. Rio de Janeiro: 1933 (Relatório Técnico do DNPM, 1900, não publicado).

KEATING, W.H. **Considerations upon the art of mining, to which are added, reflections on its actual state in Europe and the advantages which would result from an introduction of this art into The United States**. Philadelphia: M. Carey and Sons, 1821

LANDES, **Prometeu desacorrentado: transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa Ocidental, desde 1750 até nossa época**. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994.

**Mining Journal**, nov. 12, 1864.

MOKYR, **The Lever of Riches: Technological creativity and economic progress**. New York: Oxford University Press, 1990..

MOSS, K. Neville. **British mining practice, a comparison with American**. *The Times*, on October 8<sup>th</sup> 1927(Panfleto).

NEWELL, D. **Technology on the frontier: Mining in Old Ontário**. Vancouver: University of British Columbia Press, 1986.

ON THE several modes of amalgamation as practised in the Hungariam and Tyrolese Mining districts, and in South America. **The Quartely Mining Review**, n. V, (April, 1831.

RICHARDSON, P. & VAN HELTEN, J.J. The development of the South African Gold-Mining Industry, 1895-1918. **Economic History Review**, n.3, v.37, ago. 1984

ROSENBERG, Nathan. Economic Development and the transfer of technology: some historical perspectives. **Technology and Culture**, n.4, v.11, out.1970.

\_\_\_\_\_. **Perspectives in Technology**. New York: Cambridge University Press, 1976.

SIMONIN, L. **Mines and miners; underground life**. Tradução e edição de H. W. Bristow. London: William Mackenzie, 1868

SPENCE, Clark. C. **British Investments and the American Mining Frontier, 1860-1891.** Ithaca, New York: Cornell University Press, 1958.

SUTHERLAND, C.H.V. **Gold: its beauty, power and allure.** Norwich: Thames and Hudson London, 1969.

TAYLOR, John. Lecture on the Economy of Mining. **The Quartely Mining Review**, n. 10 dez. 1837.

TEMPLE, John. **Mining – An Internacional History.** London: Ernest Benn Limited, 1972.