

A EVOLUÇÃO DAS NORMAS TÉCNICAS DE PRODUÇÃO NA SIDERURGIA PRINCIPAIS TENDÊNCIAS HISTÓRICAS

Cândido Guerra Ferreira¹

O presente trabalho consiste numa reconstituição do processo histórico que, através da evolução das normas técnicas de produção, engendrou a forma produtiva mundialmente dominante na indústria do aço contemporânea.

Com tal objetivo, traçou-se, em primeiro lugar, um breve retrospecto histórico, visando situar os dois momentos fundamentais da história da grande indústria siderúrgica,² estabelecendo uma distinção entre o processo de **formação** e o movimento de **renovação** da base técnica de produção. Analisou-se, em seguida, a evolução das normas de produção, tentando ressaltar os traços mais marcantes deste movimento. Deste quadro sobressai a existência concomitante de desenvolvimentos cuja orientação dominante aponta no sentido de estabelecer uma **homogeneização** das normas de produção (trata-se em especial das tendências, profundamente entrelaçadas, à integração do fluxo produtivo e à ampliação das escalas de produção), e de outras evoluções que representam uma certa tendência à diferenciação produtiva e tecnológica no âmbito deste ramo industrial.³

1 A HISTÓRIA DA GRANDE INDÚSTRIA SIDERÚRGICA OS DOIS MOMENTOS FUNDAMENTAIS

Examinando a história da grande indústria siderúrgica, do ponto de vista da evolução das normas de produção, podemos assinalar dois grandes momentos distintos: o processo de constituição da base técnica no quadro da Revolução Industrial e o movimento de renovação desta base técnica durante o Século XX.

-
- 1 Professor do Departamento de Economia e do CEDEPLAR da UFMG. Pesquisador do CESIT/IE/UNICAMP.
 - 2 Designa-se com este termo a forma especificamente capitalista da fabricação do aço, adequada à produção em massa.
 - 3 Convém assinalar, desde logo, que foge aos limites desta análise - centrada, como foi explicitado, nos aspectos referentes às grandes tendências históricas - uma abordagem mais ampla dos fenômenos mais recentes. Isto significa que a crise atual da siderurgia e as características principais dos progressos recentes da informatização da produção só foram contemplados de forma breve e pontual (no que diz respeito a certos elementos ligados ao exame das grandes tendências históricas).

1.1 O processo de formação da grande indústria siderúrgica: o desenvolvimento tecnológico durante os Séculos XVIII e XIX

O desenvolvimento da tecnologia de produção do ferro e do aço no período que vai de meados do Século XVIII ao final do Século XIX, engendrou - **em seus traços essenciais** - a configuração técnico-material do processo de produção siderúrgica tal qual esta subsiste até os dias de hoje. As mutações técnicas representaram a transição da manufatura do ferro à grande indústria do aço: os métodos artesanais empregados na manufatura do ferro e do aço foram substituídos por técnicas industriais que se constituíram numa base mais adaptada à produção em massa e a custos reduzidos.

Tal processo transcorreu no contexto da Revolução Industrial, no seio da qual a siderurgia desempenhou um papel crucial, erigindo-se num dos principais alicerces da nova estrutura industrial que se formou à época. O desenvolvimento siderúrgico gerou, em particular, importantes estímulos para a expansão de setores estratégicos, tais como: construção pesada, máquinas e outros bens de equipamento, estradas de ferro, construção naval etc. (estes setores eram os principais consumidores de produtos siderúrgicos, naquela época).

A mecanização crescente dos meios de trabalho constituiu o pano de fundo para o desenvolvimento da tecnologia siderúrgica, e vale ressaltar que foi sobre essa base, representada pelo progresso da mecanização, que surgiram novos métodos que iriam revolucionar o processo de produção. Com efeito, o emprego cada vez mais generalizado da máquina à vapor - e, mais tarde, da energia elétrica - em substituição à força hidráulica e humana, tornou possível a ampliação da capacidade dos equipamentos, e maior regularidade e continuidade da produção. Por outro lado, assinala-se igualmente que a expansão da oferta do ferro e do aço (que não só substituíam com vantagens os materiais utilizados em larga escala até então, mas abriam ainda novas possibilidades de utilização), cujos preços diminuíram consideravelmente, significou um forte estímulo para o desenvolvimento da mecanização da produção em geral e dos transportes.

O processo de gênese da grande indústria siderúrgica compreende, por sua vez, dois momentos, que se distinguem tanto pela intensidade das transformações quanto pela orientação das principais inovações técnicas no que se refere às etapas do processo de produção integrado.⁴ Os progressos técnicos verificados ao longo do Século XVIII e da primeira metade do Século XIX, introduziram mudanças progressivas que afetaram principalmente a produção do ferro. Enquanto que, durante a segunda metade do Século XIX, ocorreu um processo intenso de mutação que se traduziu, sobretudo, na introdução e rápida difusão de novos processos técnicos para a fabricação do aço.⁵

4 Lembramos que o processo siderúrgico é constituído de três etapas principais: a produção do ferro-gusa, a elaboração do aço e a conformação final do produto.

5 Gille (1978) considera que, neste período, tivemos na realidade dois **sistemas técnicos** diferentes que se sucederam no tempo. O primeiro deles constituiu-se ao longo do Século XVIII, tendo-se aperfeiçoado e desenvolvido em seguida, e atingido um estágio de esgotamento em meados do Século XIX. No decorrer da segunda metade do século passado, instalou-se um sistema técnico novo no bojo de um processo denominado correntemente de

Assim é que, nos primórdios, a grande mudança consistiria na passagem de um processo de fabricação do ferro baseado na utilização do carvão vegetal, para a siderurgia a coque. Durante o Século XVIII, a partir das experiências pioneiras da A. Darby na Inglaterra, por volta de 1709,⁶ desenvolveu-se a tecnologia de produção de gusa em altos-fornos (AFs) a coque, cuja efetiva difusão na Inglaterra realizar-se-ia somente a partir de meados daquele século e, só bem mais tarde (em meados do Século XIX), nos principais países do continente europeu, onde ainda por longo tempo predominou o gusa produzido em altos-fornos empregando o carvão vegetal.

Embora o funcionamento dos dois tipos de AFs seja bastante semelhante, as características técnicas do coque como agente redutor permitem um aumento substancial das dimensões e, portanto, da capacidade de produção do equipamento. Por outro lado, o método de redução a carvão vegetal implicava um grande consumo de recursos florestais nos principais países produtores da Europa (evidentemente, em graus diversos segundo o país). O emprego de carvão mineral contornava este obstáculo e abria caminho para a expansão da produção do ferro. No final do Século XVIII e início do Século XIX, surgiram assim as primeiras grandes concentrações industriais com base na atividade siderúrgica, localizadas ao redor das reservas de carvão mineral e de minério de ferro na Europa e, sobretudo, na Inglaterra.

A tecnologia de fabricação do ferro-gusa em AFs a coque predomina ainda hoje amplamente, tendo sido objeto, ao longo desse período, de importantes aperfeiçoamentos que propiciaram, em especial, uma formidável ampliação do tamanho dos AFs. Por outro lado, a siderurgia a carvão vegetal tem uma participação bastante reduzida na produção mundial de ferro-gusa, e seu desenvolvimento se restringe a alguns países do terceiro-mundo onde há abundância de recursos florestais e escassez de carvão metalúrgico⁷. O desenvolvimento de uma alternativa à tecnologia de redução do mineral de ferro em AFs, só viria a ocorrer após a Segunda Guerra Mundial: trata-se do processo de redução direta que conheceu uma difusão significativa durante as últimas décadas.

No que concerne ao refino do ferro, o método dominante, desde o final do Século XVIII até meados do século seguinte, foi a técnica de pudlage, introduzida na Inglaterra nos anos 1780, associada a um processo rudimentar de laminação. Este método de refino era muito lento e intensivo em mão-de-obra, o que implicava em

"Segunda Revolução Industrial", no qual o desenvolvimento da tecnologia siderúrgica (e, em especial, as inovações na elaboração do aço) teve um papel de grande importância. A noção de "sistema técnico" proposta por Gille (1978) será retomada mais adiante.

- 6 As datas aqui indicadas, constituem tão-somente pontos de referência cronológica, posto que - como se sabe - é quase impossível "datar" com exatidão o aparecimento de um novo processo técnico. O processo de invenção e inovação se estende, em geral, por um período de tempo bastante longo e, além disso, estas inovações freqüentemente dão lugar a aperfeiçoamentos e adaptações posteriores que se revelam, muitas vezes, de importância decisiva.
- 7 É o caso, notadamente, da siderurgia brasileira, que durante toda a primeira fase de seu desenvolvimento, baseou-se na utilização do carvão vegetal. Ainda que em nossos dias, uma parte considerável (por volta de um terço) da produção de gusa provém de altos-fornos que empregam aquela matéria-prima.

custos excessivamente elevados. Cabe, entretanto, assinalar que a combinação destes métodos - redução em AFs, pudragem e laminação rudimentar - deu lugar, já desde essa época, a um primeiro esboço da usina siderúrgica integrada, embora esta ainda estivesse assentada, em grande parte, em técnicas inadequadas à produção em grande escala e a custos reduzidos. O desequilíbrio então existente entre a tecnologia de redução e a de refino foi acentuado com os aperfeiçoamentos introduzidos, durante a primeira metade do Século XIX, nos AFs a coque, os quais tornaram possível a produção do ferro-gusa em escalas cada vez maiores.

Tal desequilíbrio só seria definitivamente removido com o surgimento dos novos métodos, que revolucionaram a produção do aço na segunda metade do século passado. Estas inovações - notadamente os processos Bessemer, Thomas e Siemens-Martin (vide boxe sobre os novos processos técnicos de aciaria) -, que possibilitavam a fabricação do aço em grandes quantidades e a custos bastante inferiores,⁸ tiveram uma difusão extremamente acelerada nos últimos anos do século passado, quando a produção e o consumo do aço superaram rapidamente os do ferro:

"Desde 1874, o trilho de aço superava o trilho de ferro, que praticamente desaparece em 1885. As chapas de aço suplantaram as chapas de ferro a partir de 1891" (Gille, 1978, p. 817-818).

Foi portanto durante este período que surgiram as duas grandes alternativas técnicas para a elaboração do aço, existentes ainda nos dias de hoje: os métodos de refino em fornos (processo Siemens-Martin e aciaria elétrica) e os métodos de produção em convertedores (processos Bessemer e Thomas).

A técnica dos fornos Siemens-Martin - embora o processo de refino nesses equipamentos seja mais lento em comparação com o ciclo de fabricação em convertedores - oferece vantagens no tocante à flexibilidade em relação aos insumos (os fornos possibilitam, em particular, o emprego de uma proporção maior de sucata) e à gama de tipos de aço que se pode obter. Além do mais, a lentidão do processo de fabricação permite um controle mais estrito da qualidade do produto (Rosemberg, 1986, p. 164). Estas características explicam a difusão extremamente rápida do forno Siemens-Martin. Em 1880, a participação dos processos Bessemer e Thomas na produção mundial de aço era de 86%, enquanto que a do processo Siemens-Martin era de 12%. Em 1913, a situação inverte-se: 61% para os fornos Siemens-Martin e 38% para os convertedores Bessemer e Thomas (Yachir, 1981, p. 34). A supremacia mundial do processo Siemens-Martin, seguido do Bessemer/Thomas, mantém-se até os anos 1950-60, quando então esta situação seria profundamente alterada pela rápida propagação dos convertedores a oxigênio puro e, em menor proporção, pelo desenvolvimento da tecnologia dos fornos elétricos.

No que tange à conformação final do metal (última etapa da fabricação de produtos siderúrgicos), o progresso técnico foi estimulado pelo crescimento sustentado

8 Estima-se que a introdução destes métodos teria determinado uma queda dos custos de produção da ordem de 80 a 90%, em termos reais, entre o início dos anos 1860 e a metade da década de 1890 (Santos, 1986, p. 159).

da demanda e pela expansão das capacidades de produção de aço em virtude da introdução das novas tecnológicas de aciaria, durante a segunda metade do Século XIX. Tais progressos se traduziram, em especial, no desenvolvimento do processo de laminação, tanto para os produtos "planos" quanto para os produtos "não-planos". Até o limiar do Século XX, o equipamento central empregado na laminação era o laminador "manual". Este tipo de laminador era, de fato, movido por uma máquina a vapor ou um motor elétrico, mas a realização das operações de carga/descarga do equipamento, bem como a regulagem dos cilindros de laminação, dependiam da intervenção direta dos trabalhadores. Estas operações manuais foram progressivamente mecanizadas no decorrer deste período e, na virada do século, foram introduzidos nos Estados Unidos os primeiros laminadores "contínuos", cuja utilização difundir-se-ia primeiramente naquele país e, mais tarde (sobretudo a partir da Segunda Guerra Mundial), na Europa.

1.2 Os novos processos técnicos de aciaria (segunda metade do Século XIX)

O **convertedor Bessemer** - Por volta de 1856, na Inglaterra, foi inventado um método para se obter aço líquido a partir do refino do ferro-gusa em convertedores, nos quais se injetava ar atmosférico sob pressão. Produzido desta forma, o aço se tornava bem mais barato do que o ferro obtido através da pudlagem, porém este método não se adaptava à utilização do gusa obtido a partir de minerais fosforosos, o que representava uma considerável restrição à sua difusão.

O **processo Thomas** - O inconveniente acima referido foi contornado com o aparecimento do método Thomas (por volta de 1876), o qual introduzia modificações no convertedor concebido por Bessemer, tornando possível a eliminação do fósforo contido no mineral de ferro, no decorrer do processo de refino.

O **forno Siemens-Martin** - A terceira técnica importante de aciaria surgida nesta época, foi o processo Siemens-Martin (desenvolvido na França nos anos 1860) de fabricação de aço em fornos; mais tarde, este método também foi adaptado ao gusa fosforoso.

Os **fornos elétricos** - O leque de alternativas técnicas completou-se com o desenvolvimento da tecnologia de elaboração do aço em fornos elétricos (a primeira corrida de aço obtido nesse tipo de aciaria, data de 1900).

1.3 Expansão da produção e renovação da base técnica ao longo do Século XX

O processo de mudanças tecnológicas, que se desencadeou a partir do Século XVIII e se intensificou, particularmente, nas últimas décadas do século passado, engendrou a **usina siderúrgica integrada** - conjunto integrado de meios de trabalho para a fabricação do ferro-gusa, do aço e dos produtos laminados -, que constitui o **instrumento por excelência** da produção em massa na siderurgia. Esta chamada "fileira clássica" (baseada na usina integrada) da moderna indústria do aço é, ainda nos dias de hoje, largamente dominante no plano mundial, e foi submetida, ao longo de nosso

século, a um processo de renovação bastante intenso, através da introdução de importantes inovações. Paralelamente, outras técnicas foram desenvolvidas, permitindo a emergência de "fileiras" alternativas.⁹

Este movimento de renovação técnica teve como pano de fundo uma situação de considerável dinamismo da produção mundial de aço. O ritmo desta expansão foi, todavia, desigual ao longo desse período: após uma fase inicial de crescimento relativamente fraco no início do século, a produção se acelerou, sobretudo durante os anos 1920, sofrendo em seguida uma queda brutal em decorrência da crise de 1929. A recuperação só viria efetivamente com a corrida armamentista, nos anos que precederam e no decurso da Segunda Guerra Mundial. No pós-guerra, a indústria siderúrgica cresceu a um ritmo sustentado (as oscilações do nível da produção mundial foram pouco importantes), até a crise atual. Os Anos 70 foram marcados, ao mesmo tempo, pela ruptura do crescimento e pela instabilidade (bruscas flutuações do volume da produção), como pode ser visto no Quadro I.

QUADRO I
PRODUÇÃO MUNDIAL DE AÇO BRUTO (1890-1980)

(Em milhões de toneladas)

Anos	Produção	Anos	Produção	Anos	Produção
1880	12,4	1926	93,4	1954	223,8
1900	28,3	1927	101,8	1955	270,0
1901	31,0	1928	110,0	1956	283,5
1902	34,5	1929	120,8	1957	292,5
1903	36,1	1930	95,1	1958	274,3
1904	36,3	1931	69,6	1959	305,7
1905	44,9	1932	50,7	1960	346,4
1906	51,2	1933	68,0	1961	351,3
1907	53,0	1934	82,4	1962	360,1
1908	41,4	1935	99,5	1963	387,1
1909	54,2	1936	124,3	1964	433,4
1910	60,3	1937	135,7	1965	454,0
1911	60,5	1938	110,0	1966	472,7
1912	72,8	1939	137,1	1967	497,0
1913	76,4	1940	140,6	1968	529,7
1914	60,4	1941	153,8	1969	574,6
1915	66,6	1942	151,4	1970	595,3
1916	78,2	1943	159,6	1971	582,4
1917	82,0	1944	151,2	1972	630,1
1918	77,2	1945	113,1	1973	698,1
1919	58,5	1946	111,6	1974	708,8
1920	72,5	1947	136,0	1975	645,8
1921	45,2	1948	155,3	1976	676,5
1922	68,8	1949	160,0	1977	673,1
1923	78,3	1950	191,6	1978	715,3
1924	78,5	1951	211,1	1979	745,3
1925	90,4	1952	211,6	1980	717,8
		1953	234,8		

Fonte: DOURILLE, E. *La sidérurgie dans le monde depuis 1952*. Paris : La Documentation Française, 1981.

9 Ver mais abaixo, a apresentação das "fileiras técnicas" da siderurgia.

Este crescimento do pós-guerra é explicado pela forte progressão do consumo de aço - total e *per capita* - verificada em praticamente todas as regiões do Mundo. No que concerne aos países capitalistas industrializados, este crescimento da demanda de aço inseriu-se no contexto da expansão do consumo de massa. Com efeito, a emergência e consolidação de regimes de acumulação intensiva no quadro do desenvolvimento do "fordismo", provocaram o crescimento do mercado para a siderurgia, no âmbito das economias centrais. Ressalte-se, em particular, o dinamismo da indústria de bens de consumo duráveis (automóveis, eletrodomésticos etc.) e da construção civil, que gerou importantes efeitos de encadeamento sobre a produção de bens de equipamento. Mas não se deve tampouco esquecer (sem omitir, evidentemente, a corrida armamentista que criou um mercado sempre importante para o aço) o desencadeamento do processo de industrialização em diversos países, de vez que a siderurgia ocupou, invariavelmente, lugar central no processo de construção de uma base industrial.

Se é bem verdade que uma significativa renovação tecnológica associada à expansão da indústria ocorreu ao longo deste século, intensificando-se, como vimos, no pós-guerra, é necessário, no entanto, observar que as inovações introduzidas nesse período não representaram uma "revolução técnica", pelo menos da envergadura daquela registrada durante a segunda metade do século passado. Na verdade, os métodos de fabricação siderúrgica não sofreram transformações profundas em seus princípios básicos. Tal fato se revela concretamente, por exemplo, quando se constata que os grandes equipamentos que constituem o núcleo principal das diversas "fábricas" da usina siderúrgica integrada (a saber: os altos-fornos na produção de ferro-gusa, os convertedores e os fornos na aciaria e os laminadores na laminação), embora tenham todos sido consideravelmente aperfeiçoados (e até mesmo, em certos casos, como no convertedor, os aperfeiçoamentos tenham sido de grande importância), não foram transformados no tocante aos princípios fundamentais de funcionamento.

Foi, portanto, sobre uma base tecnológica que permaneceu estável nos seus fundamentos, que foram introduzidas as mudanças técnicas que provocaram, dentre outros efeitos interdependentes: aumento do tamanho dos equipamentos e das velocidades de fabricação, redução dos custos unitários de produção, aprimoramento da qualidade dos produtos etc. Acrescente-se a isto, o surgimento de inovações que abriram novas alternativas técnicas de produção, mas que não chegaram a ameaçar de forma significativa a hegemonia detida pela "fileira clássica" no seio da indústria. Como pano de fundo para este desenvolvimento tecnológico - principalmente no que se refere às técnicas mais recentes -, situam-se os progressos na via da automação da produção (introdução progressiva de dispositivos de regulação automática do fluxo produtivo).

2 A TENDÊNCIA À INTEGRAÇÃO NA TRAJETÓRIA DA MUDANÇA TÉCNICA

Do exame do desenvolvimento tecnológico na siderurgia, um traço característico destacou-se de forma bastante nítida: a procura, sempre renovada, de um certo equilíbrio - em termos de capacidades e de tempos de fabricação - entre as diversas etapas do processo de produção. Esse fenômeno põe em evidência a necessidade de se

assegurar uma certa "homogeneidade técnica" no âmbito do aparelho de produção integrado. Neste sentido, pôde-se notar que a introdução de mudanças técnicas em um setor (provocando desta forma a ruptura do equilíbrio anteriormente existente), constitui um poderoso estímulo para a aceleração da inovação nos segmentos situados para frente e/ou para trás, no fluxo produtivo. É lícito, assim, afirmar que, grosso modo, os estímulos que incidem sobre o progresso técnico, partindo do sistema sócio-econômico em direção ao aparelho de produção (no caso em questão, trata-se essencialmente da usina integrada), tendem a transferir-se de um setor para outro, de modo a promover uma certa "coerência" da base técnica. Tal dinâmica traduz, aliás, o peso do imperativo de integração do fluxo produtivo (que constitui um dos aspectos cruciais da economia do tempo que prevalece neste tipo de processo de trabalho,¹⁰ ao nível da trajetória da mudança técnica.

2.1 Estabilidade e mutações dos "sistemas técnicos: O papel dos equilíbrios e das interdependências tecnológicas

De uma perspectiva mais global, a constatação da existência de uma tendência ao estabelecimento de um certo equilíbrio ou coerência no contexto do movimento geral do progresso técnico (a qual se encontra, de resto, freqüentemente ligada à idéia da existência de uma interdependência ou complementaridade entre as diferentes inovações e estruturas técnicas existentes em dado momento) está presente em estudos recentes sobre a evolução histórica das técnicas. Tal visão está, por exemplo, inscrita na noção de **sistema técnico** sugerida por Gille em um ensaio sobre a história das técnicas:

"Isto quer dizer que, no limite e em regra muito geral, todas as técnicas são, em graus diversos, dependentes umas das outras, e que é necessário que haja entre elas uma certa coerência: este conjunto de coerência nos diferentes níveis de todas as estruturas, de todos os complexos e de todas as fileiras, compõe o que podemos chamar de um sistema técnico (Gille, 1978, p. 19). Os grifos são do autor.

Estes dois imperativos - interdependência e coerência entre as técnicas - constituem fatores estruturantes no âmbito de um sistema técnico que se estabiliza em determinado momento histórico. Por outro lado, tais tendências desempenham também um papel central na dinâmica das mutações técnicas, isto é, na evolução dos sistemas técnicos:

10 Lembramos porém que, no estágio atual do desenvolvimento desta indústria (e tomando como modelo as indústrias mais típicas de "processo contínuo"), a integração é ainda precária. Com efeito, subsistem importantes pontos de descontinuidade no fluxo produtivo, o que conduziu este autor a caracterizar o processo de trabalho siderúrgico como um processo "semi-contínuo" (Ferreira, 1987b).

"Com efeito, se - como tentamos demonstrar - todas as técnicas são solidárias umas às outras, caso se atinja um limite em um dado setor, isto pode bloquear todo um sistema técnico, isto é, bloqueá-lo em sua evolução geral." (Gille, 1978, p. 33).

Mais adiante, o autor observa, neste mesmo sentido, que:

"É certo que a inovação responde, como é o caso também da própria invenção (e pelas mesmas razões), a exigências técnicas: restabelecer o equilíbrio destruído no interior de uma dada fileira, restabelecer ou estabelecer a coerência dentro de um sistema técnico etc." (Gille, 1978, p. 52).

Existe, portanto, uma dinâmica de ruptura-restabelecimento do equilíbrio da base técnica no âmbito do conjunto ou, em um nível mais restrito, de um segmento do aparelho produtivo, a qual constitui um dos vetores da mudança técnica.

Convém, no entanto, ponderar que, se estas considerações indicam que podemos detectar, até certo ponto, uma lógica "endógena" à esfera da tecnologia, isto não significa, de forma alguma, que haja uma dinâmica "autônoma" das mutações técnicas. Lembramos que, na realidade, este processo se insere numa complexa rede de determinações que o conectam ao movimento sócio-econômico global (Ferreira, 1987b). Fato que, aliás, reconhece Gille ao assinalar a existência de uma interação entre o "sistema técnico", de um lado, e o "sistema econômico" e o "sistema social", de outro (Gille, 1978, p. 52).

Voltando à trajetória do desenvolvimento tecnológico no caso da siderurgia, podemos apontar vários exemplos de encadeamentos de inovações que corroboram com as teses sustentadas acima. Como já foi assinalado, o surgimento de novos métodos de fabricação do aço, na segunda metade do Século XIX, abriu caminho à superação do obstáculo representado pelo desequilíbrio existente até então entre a tecnologia de redução do minério de ferro (notadamente, a difusão e os aperfeiçoamentos introduzidos na técnica dos AFs a coque, ao longo da primeira metade do século passado, possibilitaram uma rápida expansão da produção de ferro-gusa), de um lado, e a tecnologia de refino do ferro (que até então era pouco adaptada à produção em massa), de outro lado. A propagação dos processos Bessemer, Thomas e Siemens-Martin, ao restabelecer o equilíbrio entre os setores de redução e aciaria, abriu caminho para a expansão da indústria do aço.¹¹

No que se refere ao processo de renovação das normas de produção siderúrgica no decorrer do Século XX, pode-se igualmente perceber, de forma bastante nítida, o papel do imperativo de integração do fluxo produtivo, a partir do exame do encadeamento das principais inovações técnicas. Este traço característico é enfatizado por Zarifian:

"Este rápido retrospecto da história das técnicas na siderurgia, que levou à constituição da fileira da usina integrada,

11 Esse exemplo é lembrado por Landes (1972, p. 92).

revela um certo número de características essenciais: a trajetória no sentido 'do fim para o começo' (do fluxo de produção) mostra que existe uma necessidade muito forte de coordenação entre os diferentes aparelhos e setores de produção, tendendo à realização de uma transformação contínua da matéria, condição para um ganho de tempo de produção e para uma economia de capital circulante em proporções inéditas, em comparação com os métodos anteriores" (Zarifian, 1983, p. 40).

De tal forma que, na origem desta trajetória das inovações no sentido "do fim para o começo" do fluxo produtivo, no contexto da "fileira clássica", encontramos as mudanças nas técnicas de laminação e, em particular, o desenvolvimento dos trens laminadores de chapas grossas (*wide strip mills*), introduzidos inicialmente nos Estados Unidos, sobretudo a partir dos Anos 20, e, mais tarde, nos principais países produtores. As mudanças concentraram-se em seguida na aciaria, onde sobressai o desenvolvimento, nos Anos 50, da tecnologia de elaboração do aço em convertedores a oxigênio (considerada como a principal inovação do pós-guerra, na siderurgia), ao que se acrescentará, posteriormente, o desenvolvimento da técnica de "lingotamento contínuo". Os progressos obtidos na fabricação de aço bruto e de produtos laminados, em decorrência da difusão dos novos métodos, constituíram um forte estímulo ao progresso técnico na produção de ferro-gusa, o qual se traduzirá, particularmente, numa espetacular ampliação do tamanho dos AFs e numa sensível melhoria no desempenho destes equipamentos (o que se explica sobretudo pela difusão e aperfeiçoamentos verificados nas técnicas de preparação da carga dos AFs).¹²

3 A TENDÊNCIA AO "GIGANTISMO" (A IMPORTÂNCIA DAS "ECONOMIAS DE ESCALA")

A tendência à ampliação do tamanho das instalações produtivas constitui um segundo traço característico importante - de resto, intimamente ligado ao imperativo de integração dos diferentes segmentos do processo - da evolução histórica desta indústria. Destaca-se com frequência o papel particularmente importante das chamadas "economias de escala",¹³ como motor deste movimento em direção à expansão das capacidades de produção. As normas referentes à capacidade das instalações (normas

12 Para uma síntese dos principais avanços tecnológicos introduzidos no decorrer do século, nas diferentes etapas da produção siderúrgica em usinas integradas (a "fileira clássica"), ver Ferreira (1989, item 2.2).

13 Como nota Morvan (1985b, p. 163-177), a noção de "economias de escala" não é nova no campo da análise econômica: "Desde os primórdios da análise econômica moderna (com A. Smith e C. Babbage, e sobretudo a partir dos estudos de A. Marshall), tem-se admitido, efetivamente, que os custos unitários devem diminuir com o aumento do tamanho das unidades produtivas, até um certo estágio (devido à presença de economias de escala), em seguida estes custos crescem (em decorrência de deseconomias de escala); (...)" (p. 163). Para um panorama crítico da literatura econômica sobre esta questão, ver Gold (1981).

de dimensão) ocupam, portanto, um lugar central no conjunto das normas técnicas de produção na siderurgia.

Com efeito, ao longo da história desta indústria, importantes esforços em matéria de desenvolvimento tecnológico foram orientados no sentido do aumento das dimensões dos equipamentos e da aceleração das velocidades de fabricação, do que resultou uma considerável ampliação da capacidade das unidades de produção, que faz da siderurgia, nesse aspecto, um caso notável dentro do conjunto do sistema industrial.

Para se ter uma idéia da importância desta tendência, basta examinar a evolução da capacidade produtiva dos principais equipamentos, em particular daqueles que constituem o núcleo central dos grandes setores da moderna usina integrada.

Primeiramente, no tocante aos **altos-fornos**, a tecnologia da redução à base de coque - surgida no Século XVIII - foi aperfeiçoada no decorrer do século passado, provocando uma expressiva elevação da capacidade dos equipamentos: no início do século passado, um AF produzia aproximadamente 30 toneladas/dia, ao passo que já no final daquele século, um grande AF podia atingir uma produção média de 500 toneladas/dia. Após um período de relativa estagnação durante a primeira metade do Século XX, a tecnologia dos AFs conheceu um progresso intenso no pós-guerra, que se traduziu, em particular, num aumento espetacular da capacidade dos equipamentos. Hoje em dia, os AFs gigantes instalados nos grandes complexos siderúrgicos integrados, atingem a capacidade de mais de 10.000 toneladas/dia (o que corresponde, em termos anuais, a um potencial de produção de mais de 3 milhões de toneladas de gusa, para cada um destes aparelhos!).

As grandes **aciarias** modernas equipadas com convertedores a oxigênio puro, atingem também capacidades impressionantes. Por um lado, as capacidades unitárias dos convertedores a oxigênio aumentaram sensivelmente: os primeiros equipamentos deste tipo possuíam uma capacidade de 30 a 80 toneladas de aço; hoje em dia, convertedores de 300 toneladas são correntes, podendo mesmo alcançar mais de 400 toneladas. Por outro, os progressos verificados no controle do processo de refino através da introdução da informática (controle por computador do funcionamento das instalações, em tempo real), provocaram uma diminuição do tempo de elaboração do aço. Como resultado desses avanços, pode-se atingir atualmente, nas grandes aciarias dotadas, por exemplo, de 2 convertedores (esquema de funcionamento contínuo) de 300 a 400 toneladas, uma capacidade anual de produção de 3 a 5 milhões de toneladas.

As máquinas de **lingotamento contínuo**, inicialmente utilizadas somente na produção em pequenas escalas, conheceram desenvolvimentos tecnológicos semelhantes - aceleração das velocidades de fabricação e ampliação do tamanho dos equipamentos - que tornaram este processo perfeitamente adaptado à produção em larga escala. De fato, a capacidade das máquinas de lingotamento contínuo que, há alguns anos atrás, mal chegava a 50.000 toneladas por mês, já pode atingir uma produção mensal largamente superior a 200.000 toneladas (La industria... 1984, p. 76).

Finalmente, no que se refere à **laminação**, a ampliação das capacidades de produção dos trens laminadores tem-se mostrado compatível com a evolução registrada nas outras etapas do processo siderúrgico integrado. Progressos notáveis foram obtidos, em particular no sentido da aceleração das velocidades de laminação, com o desen-

volvimento da automação. Durante a primeira fase (primeira metade do século) do desenvolvimento das técnicas de fabricação de produtos laminados em grande escala, marcada sobretudo por inovações introduzidas na siderurgia norte-americana, ressaltasse, em especial, o desenvolvimento do trem "contínuo" para chapas grossas. Os maiores equipamentos deste tipo, instalados nos Estados Unidos no decorrer dos anos 30, alcançavam uma capacidade máxima de 900.000 toneladas por ano (Coutinho, 1985, p. 76). A evolução das capacidades produtivas nos últimos anos, foi considerável em diversos tipos de laminadores (Quadro II); deve-se salientar, em particular, os progressos obtidos nos "trens desbastadores" (*blooming-slabbing*)¹⁴ e nos trens para chapas grossas, os quais atingem atualmente potencial de produção compatível com a capacidade das grandes aciarias e dos AFs gigantes.

QUADRO II
EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS LAMINADOS
(DE 1960 A 1978)

TIPO DE LAMINADOR	Capacidade Máxima (em Mtano)	
	1960	1978
Blooming-Slabbing	1,5	6,0
Trens contínuos para tarugos		2,0
Trens para perfis pesados	0,4	1,2
Trens para perfis médios		1,7
Trens para perfis leves		0,8
Trens para fio-máquina	0,35	1,0
Trens para chapas grossas	2,3	5,5 - 6,0
Trens para chapas laminadas a frio		2,5

Fonte: L'INDUSTRIE sidérurgique dans le monde. [s. l.], DAFSA, 1980 (Col. analyse de secteurs), p. 16.

A esta expansão das escalas de produção engendrada por progressos nos processos tecnológicos, deve-se acrescentar os casos de ampliação das capacidades produtivas suscitada por mudanças técnicas realizadas no interior das unidades de produção, as quais não requerem, em geral, investimentos pesados em capital fixo (trata-se, portanto, sobretudo, de progressos técnicos "não-incorporados" nos equipamentos originais). A importância destas modalidades "endógenas" ou "localizadas"

14 Observe-se, porém, que o emprego deste tipo de laminador vem sendo crescentemente ameaçado nos últimos tempos pela difusão do lingotamento contínuo.

de mudança técnica foi ressaltada, particularmente, em dois estudos de caso realizados em usinas siderúrgicas na América Latina: um na usina de Rosário (Argentina) da ACINDAR S. A. (Maxwell, 1977); e o outro na USIMINAS (Dahlman, 1978).

Os desenvolvimentos relativos às normas de dimensão dos principais processos técnicos da "fileira clássica", se refletem, evidentemente, no tamanho das usinas siderúrgicas integradas:

"O tamanho médio dos complexos siderúrgicos evoluiu, assim, de 600.000 toneladas, nos Anos 50, para 2 milhões de toneladas, e para mais de 5 milhões de toneladas em 1975!" (Yachir, 1984, p. 42).

As maiores plantas em funcionamento na siderurgia mundial contemporânea chegam a superar a capacidade de 10 milhões de toneladas/ano.

Se, como vimos, é possível estabelecer de maneira bastante clara o caráter dominante da tendência ao "gigantismo" na siderurgia, tal tendência, no entanto, não deve ser considerada como sendo única e exclusiva. No curso das últimas décadas surgiram alternativas técnicas adaptadas à produção em pequenas e médias escalas. O que não impede, todavia, que mesmo no caso destas tecnologias alternativas, se possa detectar uma certa evolução no sentido da ampliação do tamanho das instalações. Efetivamente, no que se refere, por exemplo, à tecnologia da redução direta, as primeiras instalações deste tipo não chegavam a atingir uma capacidade de 200.000 toneladas/ano; hoje em dia são implantados módulos de redução direta que chegam a 600.000/7000.000 toneladas anuais. Fenômeno análogo se verificou em relação aos fornos elétricos, que atingem dimensões muito maiores do que no passado. Até mesmo o tamanho médio das chamadas "miniplantas" (ver abaixo) elevou-se nos últimos anos.

Como foi assinalado, a tendência ao gigantismo se explica, ao menos em parte, pela importância das "economias de escala", isto é, pela redução dos custos unitários de produção (em termos de capital e de trabalho), decorrente da expansão da escala das atividades produtivas. Com efeito, em termos, por exemplo, de **custos de investimento** (montante de capital necessário por tonelada de capacidade instalada), observa-se que:

"Processo de AF + aciaria a oxigênio: o efeito de dimensão (ou "economias de escala") é sensível. Se a uma instalação de 5 milhões de toneladas (Mt) por ano, atribui-se o índice 100, teremos os seguintes índices para capacidades de produção inferiores: 3 Mt/ano = 110; 2 Mt/ano = 115; 1 Mt/ano = 129; 0,5 Mt/ano = 155; 0,3 Mt/ano = 180 e 0,2 Mt/ano = 213. Estes números são bastante eloquentes para explicar a preferência por centros de produção cada vez mais importantes" (Dourille, 1981, p. 174).

A opção pela via da construção de grandes complexos integrados implica, contudo, na necessidade de pesados investimentos em capital fixo, o que não deixa de acarretar alguns problemas, problemas estes que se viram, de resto, sensivelmente acentuados no atual contexto de crise grave da siderurgia.¹⁵

"Pode-se afirmar que o princípio das economias de escala, apesar de haver permitido uma redução dos custos unitários de produção em um período de forte crescimento da demanda, conduziu à construção de sistemas de produção que requerem uma imobilização de capital de tal monta, que jamais se logrou tornar rentáveis tais investimentos. Isto já era verdadeiro durante o período de crescimento; e tal situação se tornou flagrante a partir de 1975." (Zarifian, 1983, p. 39).

De sorte que, segundo este autor, o impacto da crise atual sobre a siderurgia, contribuiu de forma decisiva para colocar em evidência os limites do princípio das economias de escala; tais limites se manifestam sob diferentes aspectos (La industria... 1984, p. 104-105). Em primeiro lugar, a rentabilidade dos investimentos em grandes complexos requer taxas elevadas de utilização da capacidade instalada. Entretanto, a retração da demanda de aço, em decorrência da crise, provocou o aparecimento de capacidade ociosa em praticamente todas as regiões do Mundo. Além do mais, um período de tempo considerável tem se revelado necessário para colocar em operação, e controlar efetivamente, a produção no âmbito destas usinas gigantes:

"Os prazos de ajustamento do funcionamento dos complexos siderúrgicos revelaram-se da ordem de três ou quatro anos, o que hipoteca amplamente as vantagens teoricamente esperadas" (Zarifian, 1983, p. 39).

Acrescente-se, a isso, que as dificuldades de controle do funcionamento destes complexos não se colocam apenas na fase inicial; o andamento regular da produção exige, de forma permanente, "uma mobilização dos conhecimentos e vínculos entre os trabalhadores, que são inteiramente inéditos".

Diante de tais restrições às vantagens que se poderia esperar da aplicação do princípio das economias de escala na siderurgia, não é surpreendente que se assista, nos últimos anos, a um surto de alternativas produtivas mais "flexíveis" (notadamente, aquelas adaptadas à produção em escalas mais reduzidas).¹⁶ O que parece indicar a

15 Como já foi assinalado, a análise da crise atual da siderurgia está fora dos limites deste trabalho. Aqui, o limite será evocar rapidamente certos aspectos ligados à questão das economias de escala.

16 A busca de uma maior "flexibilidade" - imperativo colocado pela conjuntura atual - se traduz, por outro lado, e especialmente no quadro das grandes instalações siderúrgicas, pelo desenvolvimento da informatização. A respeito das mutações do trabalho operário na siderurgia, em decorrência do desenvolvimento da informatização da produção nos últimos anos, ver, entre outros: Barisi (1982, 1984); Zarifian (1983, 1985); Bercot (1985); Dossier...1984).

busca de adaptação a uma conjuntura marcada por bruscas flutuações da demanda de aço, e pela existência de importantes capacidades ociosas ao nível mundial.¹⁷

4 DIVERSIFICAÇÃO PRODUTIVA E TECNOLÓGICA

As tendências à integração do fluxo produtivo e à ampliação da capacidade das instalações - examinadas acima - estão portanto no centro de um processo de homogeneização das normas técnicas de produção. Embora estas tendências sejam claramente dominantes no plano da evolução global da siderurgia, não se deve, contudo, considerá-las como tendências exclusivas. Com efeito, outros desenvolvimentos importantes - e simultâneos aos anteriores - direcionam a evolução desta indústria no sentido do estabelecimento de uma certa diferenciação das normas e das estruturas de produção. Serão examinados agora movimentos de diversificação das possibilidades ao nível dos produtos (as "linhas" de produção) e da tecnologia de fabricação (as "fileiras técnicas"). Estes processos abrem caminhos alternativos tanto em relação ao movimento no sentido da integração do fluxo (é o caso, em particular, da chamada "fileira não-integrada"), quanto no que se refere à elevação das capacidades produtivas (por exemplo, o desenvolvimento de técnicas adaptadas a pequenas e médias escalas, ligadas ao surto das "miniusinas").

4.1 A diferenciação dos produtos e dos mercados

No que concerne à gama de produtos laminados, é usual dividir-se a indústria siderúrgica em duas grandes "linhas" de produção: a de produtos "planos" e a de produtos "não-planos".¹⁸

A evolução da estrutura da demanda no pós-guerra, determinou um crescimento mais acelerado dos aços "planos" em relação aos aços "não-planos", o que se traduziu num aumento do peso daquele tipo de produtos siderúrgicos na estrutura produtiva do ramo ao nível mundial (Quadro III). O predomínio dos produtos "planos" tende, de resto, a ser mais acentuado nos países mais desenvolvidos, onde o modo de

17 No entanto, segundo tudo indica (pelo menos no estágio atual da evolução desta indústria), estamos presenciando antes uma **atenuação**, do que uma **reversão** definitiva da tendência à ampliação das escalas de produção na siderurgia. Com efeito, embora o tamanho teoricamente ótimo das usinas tenha caído sensivelmente em relação aos padrões vigentes no início dos Anos 70, o peso dos grandes complexos integrados ainda permanece amplamente preponderante no contexto mundial do ramo.

18 Distingue-se também habitualmente a categoria dos aços especiais daquela dos produtos de qualidade corrente; tal distinção sendo estabelecida, portanto, não em função da forma do produto acabado, mas sim das propriedades particulares que possuem certos tipos de aço. Apesar da dificuldade de se ter uma idéia exata da participação dos aços especiais (em razão, notadamente, das diferentes definições existentes) na produção total de aço bruto, pode-se estimar que esta participação - que é, aliás, muito variável segundo o país - raramente supera os 20% da produção nacional. Note-se porém que o peso dos aços especiais na produção mundial tem crescido significativamente nas últimas décadas (L'industrie... 1980, p. 42).

desenvolvimento industrial do pós-guerra - notadamente em um contexto de regimes de acumulação marcados pela hegemonia do "fordismo" - tendeu a reforçar o dinamismo de setores que consomem maciçamente este tipo de produtos siderúrgicos.

QUADRO III

PARTICIPAÇÃO DOS PRODUTOS PLANOS NO TOTAL DA PRODUÇÃO DE LAMINADOS

Em%	1960	1970	1974	1978
Europa Ocidental	41,80	47,50	48,90	50,30
onde: CEE	42,50	48,90	50,00	50,50
Europa Oriental	32,50	38,70	40,70	41,90
onde: URSS	33,00	39,00	40,00	42,20
Estados Unidos	65,40	60,70	63,10	64,20
Japão	52,30	62,00	63,00	59,70
Mundo	42,00	47,30	48,60	50,30

Fonte: L'industrie sidérurgique dans le monde. [s.l.], DFFSA, 1980
(Col. analyse de secteurs).

O peso dos diferentes ramos industriais na composição do mercado para o aço varia, evidentemente, em função do nível de desenvolvimento econômico do país. De uma maneira geral, os principais ramos consumidores são construção civil e construção metálica, automóvel e outros transportes (material ferroviário, construção naval etc.), construção mecânica, máquinas elétricas etc. Nota-se, porém, que - grosso modo - o peso dos ramos da construção mecânica (automóvel e outros transportes, construção elétrica e eletro-mecânica etc.) tende a ser maior nos países mais industrializados, enquanto que a parte da construção civil na demanda de produtos siderúrgicos é, em geral, relativamente mais importante nos países subdesenvolvidos (Dourille, 1981, p. 153-154). Tal fato corrobora, aliás, com a observação feita a respeito da presença mais intensa dos aços "planos" na estrutura produtiva do ramo, no caso das economias desenvolvidas; enquanto que, no segundo grupo de países, o peso dos produtos "não-planos" tende a ser proporcionalmente maior.¹⁹

19 Assinale-se, além do mais, que as normas de dimensão são um pouco diferentes nessas duas "linhas" de produção. Considera-se geralmente que as economias de escala são mais importantes na produção de aços "planos": o tamanho médio das instalações e das usinas especializadas neste tipo de produtos é superior ao das plantas especializadas em "não-planos". Neste sentido, observa-se que o recente desenvolvimento da "mini-siderurgia" está ligado principalmente à produção de produtos não-planos (sobretudo de produtos "banalizados": fio-máquina, perfis comuns etc.).

4.2 As "fileiras técnicas"

Convém, antes de mais nada, precisar o que designamos aqui como "fileira técnica". Tal precisão torna-se ainda mais oportuna, quando se tem em conta o fato de que o desenvolvimento recente das análises em termos de "fileiras", no campo da economia industrial, deu lugar a uma considerável variedade de definições e, portanto, de utilizações desta noção.²⁰

Neste sentido, é necessário, em primeiro lugar, assinalar que se trata de **fileiras técnicas**, ou seja, que retemos aqui apenas uma dentre as várias dimensões (ou "inflexões conceituais" Dermouche, 1985, p. 145) possíveis desta noção. Observe-se, em seguida, que a utilização que fazemos desta noção é próxima daquela proposta por Gille:

"As fileiras técnicas constituem seqüência de conjuntos técnicos destinados a fornecer o produto desejado, cuja fabricação se faz, com muita freqüência, em muitas etapas sucessivas" (Gille, 1978, p. 16).

Esta mesma idéia está presente na definição sugerida por P. Garrouste:

"Uma fileira técnica é um conjunto de processos técnicos, cuja aplicação permite fabricar um determinado produto. É possível definir a estrutura e a função de uma fileira técnica. A estrutura de uma fileira técnica é o conjunto das relações existentes entre os processos técnicos desta fileira" (Garrouste, 1985, p. 54).

Em nosso caso, entretanto, a ênfase será colocada nas diferentes alternativas tecnológicas de produção (apreendidas em termos de encadeamentos possíveis de processos técnicos) existentes **no interior de um determinado ramo industrial**.²¹

Isto posto, podemos detectar, no interior da indústria siderúrgica, três esquemas alternativos para a elaboração do aço. Estas fileiras técnicas definem-se, principalmente, em relação às escolhas realizadas no tocante à redução do minério de ferro (o que pode comportar inclusive a ausência dessa etapa da fabricação, como no caso das usinas não-integradas que empregam sucata), mas também em relação ao processo técnico adotado para a aciaria.

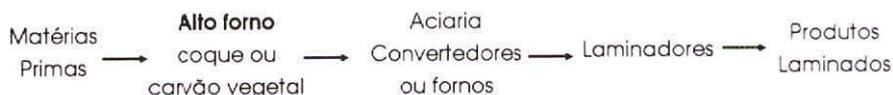
20 Essa observação é válida sobretudo para o caso da economia industrial francesa. Sobre as diferentes acepções da noção de "fileira", ver, entre outros: Perez (1983), Morvan (1985a), Creton (1985), Dermouche (1985).

21 Esta aceitação do termo difere, portanto, substancialmente da noção de "fileira produtiva", que pode ser definida da seguinte forma: "The French tradition of industrial economics tried to capture this aspect of a relatively ordered and hierarchical structure through the concept of *filière*, that is a cluster of sectors which are connected by strong technological and behavioural input/output interlinkages." (Dosi, Orsenigo, 1988, p. 28).

4.2.1 A "fileira clássica" (também conhecida como "processo longo")

Esta fileira - baseada no alto-forno como equipamento central para a produção do ferro-gusa e em métodos de aciaria e de laminação adaptados à produção em massa - é, como já foi assinalado, dominante no plano mundial. O coque é, de longe, o principal combustível/reductor empregado nos altos-fornos. A siderurgia a carvão vegetal constitui portanto uma "subfileira" (ou "fileira" diferente) muito marginal em termos de produção mundial, e sua existência limita-se praticamente a algumas regiões do terceiro-mundo dotadas de recursos florestais abundantes e pobres em carvão metalúrgico (neste sentido, ela pode ser considerada como uma "tecnologia apropriada") (Symposiun... 1980, p. 86).

Esquema da "fileira clássica"



A usina integrada constitui o suporte de produção típico desta fileira. Na aciaria, podem ser utilizadas as tecnologias de convertedor (Bessemer, Thomas, a oxigênio) ou os fornos Siemens-Martin ou elétrico; atualmente os convertedores a oxigênio (processo LD) predominam sobretudo nas usinas maiores e mais produtivas. O lingotamento convencional do aço em lingoteiras está sendo gradualmente substituído pelas máquinas de lingotamento contínuo.²²

No atual estágio do desenvolvimento tecnológico da "fileira clássica", a imagem da usina siderúrgica integrada moderna, corresponde - quanto aos processos de base utilizados - ao seguinte encadeamento: grandes AFs - aciarias a oxigênio - lingotamento contínuo - laminação a altas velocidades (a quente e a frio).

4.2.2 A "fileira de redução direta"

Como sua denominação já indica, esta fileira é caracterizada pelo emprego dos processos de redução direta (RD) do minério de ferro, em lugar dos altos-fornos.

Da mesma forma que a "fileira clássica", a "RD" esta, em geral, baseada na usina integrada, porém a escala média de produção é consideravelmente inferior àquela registrada na fileira precedente. Na maior parte destas usinas, adota-se os fornos elétricos a arco para a elaboração do aço a partir do mineral pré-reduzido ("esponja de ferro", principalmente).

22 Trata-se, aliás, de um fenômeno geral que concerne a todas as três fileiras da siderurgia.

Esquema da "fileira redução direta"



4.2.3 A "fileira semi-integrada"

Nesta terceira alternativa, há supressão da etapa de redução (produção de gusa ou de "ferro-esponja"). Para fabricar o aço a partir da sucata, utiliza-se geralmente o forno elétrico a arco.

Esquema da "fileira semi-integrada"



Estas usinas semi-integradas, geralmente de pequena dimensão ("miniusinas"),²³ em comparação com os complexos siderúrgicos integrados, empregam cada vez mais o lingotamento contínuo e são especializadas principalmente em produtos não-planos.

Estas três fileiras técnicas apresentam, em razão de seus diferentes conteúdos tecnológicos, características econômicas particulares, que são determinadas notadamente por: diferentes possibilidades quanto à utilização de matérias-primas (minério de ferro, sucata, carvão/coque, eletricidade, gás natural etc.); flexibilidade do *mix* de produtos intermediários (gama de tipos de aço bruto) e acabados (gama de produtos laminados); rendimento obtido segundo as diferentes escalas de produção etc.

23 A miniusina é formada por um forno elétrico a arco, uma instalação de lingotamento contínuo - ou um trem laminador desbastador - e um trem acabador. Doravante, o tamanho médio atual de 200 a 500.000 toneladas de produção anual tende para uma capacidade maior (...) Estas usinas produzem, em geral, apenas um ou dois produtos não-planos, o que implica numa capacidade importante para cada um destes produtos, comparável àquela existente nas usinas integradas (em especial, para o fio-máquina)" (L'industrie... 1980, p. 23). Já foi assinalado o fenômeno recente da expansão do número destas miniplantas: os dados apresentados abaixo podem dar uma idéia da importância deste crescimento. São 80, 160 e 300 as miniusinas consideradas nos anos de 1960, 1970 e 1980, respectivamente (La indústria... 1984, p. 10).

Tais características condicionam as possibilidades econômicas de adaptação destas fileiras às condições de produção dos países ou regiões: dotação em recursos naturais, densidade e configuração da estrutura industrial, capacidade de mobilização de mão-de-obra qualificada, acesso às tecnologias de ponta, disponibilidade de capitais etc. Elas determinam, por outro lado, certas especialidades quanto às condições de elevação da produtividade e de rentabilidade dos investimentos (em particular, as questões das economias de escala da flexibilidade dos aparelhos produtivos).²⁴

5 BIBLIOGRAFIA

- ABOUN, Rabah et al. *Forces et faiblesses des siderurgies du tiers-monde*. Argel : Centre de Recherches en Economie Appliquee/CREA, 1981, 201 p.
- BARISI, G. *Relations collectives de travail et strategies des acteurs sociaux dans la sidérurgie à participation d'Etat en Italie (1968-1982)*. Paris : GST/ CNRS/Univ. Paris VII.
- , *Mutations technologiques et relations sociales dans la sidérurgie lescas francais et italien*. Paris : CRMSI, 1984. Relatório de Pesquisa.
- BERCOT, R. *Transformations techniques et division du travail: le cas des opérateurs de la sidérurgie lourde*. *Formation Emploi*, Paris, n. 11, 1985.
- CHANGEMENTS structurels dans l'industrie sidérurgique. New York : Nation Unies, Geneve : Comission Économique pour E'Europe, 1979.
- COUTINHO, C. S. *Transferência de tecnologia e organização do processo de trabalho na indústria siderúrgica*. Belo Horizonte, 1985. Dissertação (Mestrado) CEDEPLAR/UFMG.
- CRETON, Laurent. *Strategies de filiere de l'entreprise: quelques réflexions à partir de l'analyse de la filière életronique*. In : L'ANALYSE de filière electronique. Paris : ADEFI - Economica, 1985, p. 93-107. Colloque organisé por le Centre de Recherches et d'Etudes Appliqués du Groupe Ecole Supérieure de Commerce de Nantes.
- DAHLMAN, C. J., FONSECA, F. V. *From technological dependence to technological development: the case of the USIMINAS steel plant in Brazil*. Belo Horizonte : CETEC, 1978. mimeo.
- DERMOUCHE, A. *La filiere: concept et réalité opératoires pour l'entreprise*. In : L'ANALYSE de filiere. Paris : ADEFI - Economica, 1985, p. 143-147. Colloque organisé par le Centre de Recherches et d'Etudes Appliquées du Groupe Ecole Supérieure de Commerce de Nantes.

24 Para uma síntese a respeito do desenvolvimento dos processos tecnológicos "alternativos" (especificamente os métodos de redução direta e os fornos elétricos de aciaria) àqueles dominantes na siderurgia contemporânea, Ferreira (1989, item 4.3).

- DOSI, G., ORSENIGO, L. Coordination and transformation: an overview of structures, behaviours and change in evolutionary environments, In: DOSI, G. et al. *Technical change and economic theory*. Londres/Nova York : Pinter Publishers, 1988.
- DOSSIER : siderurgie voyage au centre du crassier. *Travail: bulletin de L' Association d'Enquête et de Recherche sur l'Organisation du Travail*, Paris, n. 4, p. 7-43, avr. 1984.
- DOURILLE, E. *La sidérurgie dans le monde depuis 1952*. Paris : La Documentation Française, 1981.
- FERREIRA, C. G. *Proces de travail et rapport salarial dans l'industrie sidérurgique: étude de la formation des normes mondiales et du cas brésilien*. Nanterre, 1987a. Tese (Doutorado) Univ. Paris X.
- *Processo de trabalho e relação salarial um marco teórico-analítico para o estudo das formas capitalistas de produção industrial*. Belo Horizonte : CEDEPLAR/UFMG, 1987b. (Texto para discussão, n. 37).
- *Os traços principais de evolução das normas de produção na siderurgia*. Belo Horizonte : CEDEPLAR/UFMG, 1989. (Texto para discussão, n. 54).
- FONSECA, F. V. *From technological dependence to technological development: the case of the USIMINAS steel plant in Brazil*. Belo Horizonte : CETEC, 1978. mimeo.
- FREYSSENT, M. *L'automatisation dans l'histoire de la division capitaliste du travail*. México : UNAM, 1981. Trabalho apresentado no Seminário Crises, Nuevas Tecnologias y Proceso de Trabajo, 1981, México.
- , OMNES, C. *La crise de la sidérurgie française*. Paris : Hatier, 1982.
- GARROUSTE, P. Etude des modifications de la morphologie d'une filiere technique. l'exemple de la forge. In: L'ANALYSE de filiere, Paris : ADEFI - Economica, 1985, p.53-58. Colloque organisé par le Centre de Recherches et d'Etudes Appliquées du Groupe Ecole Supérieure de Commerce de Nantes.
- GILLE, B. *Histoire de la métallurgie*. Paris : PUF, 1966.
- (org) *Histoire des techniques*. Paris : Gallimard, 1978. (Encyclopédie de la Pléiade).
- GOLD, B. Changing perspectives on size, scale and returns: an interpretive survey. *Journal of Economic Literature*, Los Angeles, v. 19, n. 1, p. 5-33, Mar. 1981.
- ILDA, K. *Origin and development of iron and steel technology in Japan*. Tokio : Universidade das Nações Unidas, 1980.
- LA INDUSTRIA siderurgica latinoamericana: tendencias y potencial. Santiago : CEPAL, 1984. (Estudios y Infames de la CEPAL, n. 40).
- L'INDUSTRIE sidérurgique dans le monde, [s. d.], DFSA, 1980 (Col. analyse de secteurs).
- LANDES, D. S. *The unbound prometheus*. London : Cambridge, 1972.

- MADDALA, G. S., KNIGHT, P. T. International diffusion of technical change: a case study of the oxygen steel making process. *The Economic Journal*, London, v. 77, n. 307, p. 531-538, Sept. 1967.
- MAXWELL, Ph. Learning and technical change in the steel plant of Acindar S.A. in *Rosário, Argentina*. Buenos Aires : BID/CEPAL, 1977. (Relatório de Pesquisa, BID/CEPAL). mimeo.
- MORVAN, Y. L'économie industrielle et la filière. In: L'ANALYSE de filière, Paris : ADEFI - Economica. 1985a, p. 5-9. Colloque organisé par le Centre de Recherches et Etudes Appliquées du Groupe Ecole Supérieure de Commerce de Nantes.
- . *Fondements d'économie industrielle*. Paris : Economica, 1985b.
- PEREZ, R. Introduction méthodologique sur l'articulation filières-stratégies. In: *ECONOMIE industrielle, problématique et méthodologie*, Paris : ADEFI/ Economica, 1983.
- ROSENBERG, N. L'exploitation commerciale de la science par l'industrie américaine. In: SALOMON, J., SCHMEDER, G. (org.). *Les enjeux du changement technologique*, Paris : Economica, 1986.
- SANTOS, Antônio César. O problema do trabalho na industrialização em Minas Gerais: o caso da siderurgia. Belo Horizonte, 1986. Dissertação (mestrado) UFMG/CEDEPLAR.
- STORA, B. *Crise, puissance, perspectives de la sidérurgie mondiale*. Paris : Economica, 1979.
- SYMPOSIUM DEL'OCDE SUR L'INDUSTRIE DEL'ACIER DANS LES ANNEES 1980. Paris. *L'acier dans les années 80*. Paris : OCDE, 1980. 312 p.
- TODA, H. *The iron and steel industry in Japan*. Tokio : Institute of Developing Economies, 1981.
- YACHIR, F. (org.) *Stratégie des monopoles et développement mondial de la sidérurgie*. Argel : CREA, 1981.
- . *Crise et redéploiement dans la sidérurgie*. Paris : Silex, 1984.
- ZARIFIAN, Ph. Qualification collective et automatisation: le cas de la sidérurgie. *Formation Emploi*, Paris, n. 1, 1983.
- . La définition de l'activité de l'opérateur par les informaticiens dans la sidérurgie lourde. *Formation Emploi*, Paris, n. 11, 1985.