

Maciel Morais Santos

A substituição de motores na indústria portuguesa (1850-1950)

R E S U M O

No modo capitalista de produção a instalação de motores é condicionada pela taxa de lucro, que inclui o encargo de amortização da potência. Para o estabelecimento destes encargos, a extensão do mercado é determinante, o que introduz factores históricos e aparentemente aleatórios. Daqui resultam decisões de irracionalidade técnica que, no caso português levaram ao sub-aproveitamento dos recursos hidráulicos e hidro-eléctricos.

No modo capitalista de produção, a utilização de motores para actividades produtivas é condicionada pela taxa de lucro. Na decisão de adquirir ou substituir uma forma de energia motriz é menos determinante o aumento de produtividade que lhe possa ser associado do que o modo como é perspectivada a circulação do valor, isto é, a rotação da potência motriz enquanto parcela de capital. Nestas condições, a motorização da indústria portuguesa dos últimos 150 anos tem de ser enquadrada pelas condições de reprodução dos capitais em Portugal.

Os pontos que se seguem pretendem demonstrar como destas condições resultaram aparentes irracionalidades técnicas: o subaproveitamento de fontes de energia mecânica, como a hidráulica, ou a acumulação anormal de atrasos na electrificação. O ponto 1 tenta caracterizar as contradições inerentes à produção de energia mecânica enquanto investimento de capital; o ponto 2, como a constituição de mercados nacionais periféricos, nos quais se inclui o português, condiciona a rotação de capital; o ponto 3, as resultantes históricas de dois processos de substituição de fontes de energia no mercado português.

1. A ENERGIA MECÂNICA ENQUANTO ROTAÇÃO DE CAPITAL

A distinção entre a utilidade dos motores enquanto meios de produção e enquanto componentes de capital explica a coexistência de diferentes tipos de motor. Enquanto meios de produção, os motores são máquinas que transformam uma dada forma de energia em energia mecânica e podem ser comparados quanto ao rendimento: trata-se da relação entre o trabalho debitado e a energia consumida¹. Os motores de maior rendimento estão portanto associados a uma maior capacidade de produção de riquezas. Exclusivamente com base neste indicador, e abstraindo dos casos em que tecnicamente não houvesse escolha, nenhum motor térmico – especialmente de rotação alternada - teria sido instalado em substituição de um hidráulico. Em função do rendimento mecânico, nenhuma máquina de

¹ Como se sabe pelo 2º princípio da termodinâmica, esta relação é sempre inferior à unidade. HERLEA, 1985:15.

vapor se podia comparar a uma roda hidráulica “overshot” e muito menos a uma turbina Founeyron. O rendimento térmico do motor de Newcomen, já com os aperfeiçoamentos de Smeaton, era inferior a 1%, isto é, praticamente desperdiçava 99 % da energia térmica do seu combustível². O rendimento do motor de Watt chegava a cerca de 5 % e o do primeiro motor a aproveitar eficazmente a expansão do vapor a alta pressão, o “compound” de Woolf (1776-1837), poderia ter chegado a um máximo de 15%. Em contrapartida, o rendimento mecânico das rodas hidráulicas aperfeiçoadas, como a de Sagebien, chegava aos 90% e a turbina de Fourneyron, em um dos seus primeiros modelos (1832), aos 80 %³.

Estes balanços energéticos nunca poderiam ser feitos na época visto que a teoria termodinâmica só surgiu na segunda metade do século XIX. Contudo, o modo capitalista de produzir tem como objectivo o valor, não as riquezas. Enquanto encargos de capital, o trabalho dos motores podia, com maior ou menor dificuldade, ser comparado pelos industriais. Em mercados concorrenciais, mesmo admitindo técnicas contabilísticas pouco rigorosas, a persistência de imputações aos motores de que resultassem taxas de lucro inferiores à média não permitiria a renovação do mesmo tipo de equipamentos. Como ao longo da primeira metade do século XIX se continuaram a instalar, em situações de alternativa possível, rodas hidráulicas e máquinas de vapor, uma conclusão segura parece ser a de que os seus encargos deveriam ser semelhantes: a não ser assim, a substituição do tipo menos rentável teria sido mais rápida⁴.

1.1. A rotação do valor da potência

Em qualquer capital produtivo, a distinção entre capital fixo e circulante é relativa ao modo de circulação do valor, isto é, à forma como as parcelas de capital transmitem valor ao produto. O capital fixo transmite apenas uma fracção do seu valor em cada rotação de capital, o que significa que conserva, relativamente aos produtos que contribuiu para criar, as características físicas com que entrou no processo de trabalho. Em contrapartida, o capital circulante cede integralmente o seu valor ao produto durante cada rotação de capital, o que significa que se transforma fisicamente, perdendo a forma que tinha enquanto mercadoria.

Os motores são máquinas energéticas que, por terem uma vida útil de duração superior ao tempo de uma rotação de capital, pertencem ao capital fixo. Contudo, como o seu funcionamento necessita, entre outros factores, de agentes motores (os caudais nos motores hidráulicos, os combustíveis nos térmicos, a corrente eléctrica nos eléctricos) e de matérias auxiliares (lubrificantes, etc.) que são mercadorias integralmente consumidas em cada rotação de capital, a sua participação no valor do produto inclui também parcelas de capital circulante. Para cada motor, o custo de funcionamento, isto é, o custo da potência obtida (seja, por exemplo, do cavalo-vapor por hora), pode ser expresso pela equação (1):

$$F = (C (j + d) / H) + ep + S$$

² COSSONS, 1987:62.

³ As rodas hidráulicas transformam apenas energia mecânica. As máquinas térmicas (como as de vapor) transformam energia química em térmica e térmica em mecânica. Em função do segundo princípio da termodinâmica, têm sempre rendimentos inferiores às máquinas transformadoras com menores quantidades de energia (isto é, a energia impossível de transformar em trabalho). Para os rendimentos mecânicos das rodas francesas, WORONOFF, 1998: 206.

⁴ TEMIN, 1966:196.

na qual F é o custo da potência horária obtida; C , o capital fixo investido (o custo do motor instalado no local de trabalho); j , a taxa de juro anual; d , a taxa de deterioração média anual; H , o número de horas anuais de utilização; e , o total de unidades de energia e de matérias auxiliares consumidas por hora; p , o valor de e enquanto capital circulante; S , os custos salariais horários (de maquinistas na condução e manutenção)⁵.

As possíveis concretizações de cada uma destas sete variáveis levaram a grandes diferenças nos custos de funcionamento, o que ajuda a explicar a coexistência dos motores hidráulicos e térmicos.

Deve notar-se que na concretização das variáveis da equação (1) a localização do motor é um factor de grande ponderação na medida em que adiciona não só as despesas de transporte como as especificidades dos mercados locais. Além disso, os efeitos da localização não afectam apenas o custo de funcionamento dos motores. Antes da electrificação, a localização do motor era simultaneamente a do processo de trabalho, o que condicionava os encargos das outras fracções de capital - constante e variável⁶ - bem como os do transporte do capital-mercadoria até ao seu mercado de realização. A escolha dos motores tinha portanto de considerar não só como a localização poderia afectar a equação dos seus custos de funcionamento mas como poderia afectar toda a reprodução do capital.

Mesmo incluindo os efeitos do factor da localização nos encargos, a equação dos custos de funcionamento dos motores, por si só, não determina a circulação do valor da potência motriz. Esta depende igualmente da grandeza física do produto. Assim, para cada unidade física produzida (seja qual for a sua medida unitária) durante uma rotação de capital, o encargo de amortização da potência é o quociente entre os custos de funcionamento do(s) motor(es) e o total das unidades produzidas. Na equação (2):

$$P = (Ft) / O$$

P é o encargo de potência por unidade de produto; F , os custos tal como definidos na equação (1); t , o tempo de funcionamento do(s) motor(es) durante a rotação de capital; O , o total de unidades produzidas durante essa rotação. Em cada rotação, dois motores com iguais custos de funcionamento mas debitando desiguais massas de produto transmitirão ao capital-mercadoria desiguais fracções de capital constante por unidade. A diferença entre os custos de funcionamento dos motores e os encargos de amortização da potência depende portanto da extensão do mercado disponível. Isto significa que depende de circunstâncias históricas, muitas delas de origem pré-capitalista mas cujo papel se tornou decisivo na acumulação de capital.

⁵ HALSEY, 1981: 727. Halsey usou esta equação para comparar custos de funcionamento de diferentes motores a vapor mas nada impede que possa ser usada na comparação entre motores a vapor e hidráulicos. Era, aliás, a equação já usada no século XIX para este efeito. Para a concretização da equação nos motores hidráulicos americanos, onde era frequente as rodas hidráulicas terem de pagar uma renda pelo uso dos caudais, ver TEMIN, 1966: 198.

⁶ Em 1865, calculava-se que na comparação entre os custos de funcionamento de um motor hidráulico em Tomar e de uma máquina de vapor em Lisboa deveria entrar “a diferença de preço entre os jornaes dos operarios de Lisboa e de Thomar” - cerca de 30 reis diários, o que a 216 operários /ano dava 1,9 contos. FABRICA DE FIAÇÃO DE ALGODÃO EM TOMAR, 1865: 14.

2. A ROTAÇÃO DO VALOR DA POTÊNCIA NO MERCADO PORTUGUÊS

Uma vez que os encargos de amortização da potência dependem da grandeza do produto, pode concluir-se que, para todos os capitais industriais portugueses, eram comparativamente elevados.

No período aqui considerado e com a excepção da Inglaterra – cujo mercado concentrou durante o século XIX entre 20 a 40% das exportações do resto do mundo – o produto industrial de cada país europeu foi quase exclusivamente condicionado pela extensão dos mercados nacionais. A acumulação de capital fez-se a partir de centros que tinham unificado ou estavam a unificar politicamente mercados locais e regionais, delimitando-os por pautas alfandegárias mais ou menos gravosas. Esta configuração territorial em mercados nacionais foi em seguida consolidada pelo traçado das redes ferroviárias e de navegação a vapor. A partir da década de 1840 estas redes de transporte começaram a diferenciar algumas distâncias-tempo da Europa Continental, dissociando-as das distâncias geográficas naturais. A diminuição do tempo de circulação trazida pelas novas rotas teve o efeito de acelerar a periferização dos mercados não tocados, para os quais passou a existir uma desvantagem concorrencial. Em contrapartida, alguns mercados nacionais, consolidados por esses eixos privilegiados de circulação do capital-mercadoria, atingiram extensões suficientes para que a complementaridade interna pudesse provocar economias de capital (casos do *Zollverein* ou do mercado francês). Houve também casos de capitais sediados fora dos grandes mercados nacionais mas cuja rotação beneficiava da proximidade e do acesso directo a esses eixos privilegiados: por exemplo, os belgas, suíços e dinamarqueses. O resultado destes processos foi a complementaridade industrial das regiões atlânticas europeias, cujas trocas entre si representavam, em 1913, cerca de 40% do comércio mundial⁷.

Atendendo ao nível da acumulação de capital no mercado nacional, que por sua vez condicionou o atraso e a extensão das suas redes ferroviárias⁸ e de navegação a vapor, o mercado interno português rapidamente acumulou características periféricas. Entre 1851-91, as exportações foram em média inferiores a 5% do produto interno⁹ e, apesar das expectativas das décadas de 1880-90, o mercado colonial só muito tardiamente teve condições para exercer alguns efeitos multiplicadores.

Nestas condições, para qualquer motor instalado numa actividade agrícola ou industrial portuguesa, os encargos de amortização da potência seriam geralmente superiores aos dos capitais produtivos integrados nos grandes mercados. Em consequência, esses encargos teriam efeitos negativos sobre as taxas de lucro em Portugal. Para representar a associação entre os dois fenómenos, considere-se a rotação rI de um qualquer capital na qual, por unidade de produto, TL é a taxa de lucro; MV , a massa de mais-valia; c , o capital constante (onde se incluem quase todas as parcelas de valor correspondentes ao trabalho do(s) motor(es)); v , o capital variável¹⁰. No final da rotação rI , a taxa de lucro é dada pela equação (3):

$$TL = MV / (c + v)$$

⁷ NIVEAU, 1979: 197.

⁸ Uma comparação para o ano de 1902 mostra como, tanto pelo critério da percentagem por metro quadrado como pelo da permilagem demográfica, a rede portuguesa estava praticamente no último lugar das redes europeias (praticamente apenas superior à russa ou à turca). Para os indicadores, ABRAGÃO, 1956: 70.

⁹ MATA; VALÉRIO, 1993: 154.

¹⁰ A representação da fórmula do capital em unidades de valor serve apenas para facilidade de exposição. A sua existência real pressupõe a perequação dos lucros, tal como a equação (1) mostrou ao incluir a variável do juro do capital fixo.

Admita-se que numa qualquer outra rotação – seja r_{20} - o crescimento da procura leva à instalação de um motor de maior potência, o que eleva o valor de c . Admita-se igualmente que o aumento de valor que afectaria outras parcelas de c , por efeito do crescimento do produto, e o aumento da taxa de mais-valia, por efeito de uma maior intensidade do trabalho, se anulam entre si¹¹. Então, para cada unidade produzida durante a rotação r_{20} , a variação do capital constante relativamente a r_1 será determinada pela variação do encargo de amortização da potência:

$$\delta c = \delta P$$

Isto é, se durante a rotação r_{20} variarem apenas os custos de funcionamento do motor (F_t) e o total de unidades do produto (O), então para cada uma dessas unidades de produto, a equação (3) será substituída pela equação (4):

$$TL = MV / (c + \delta c + v) = MV / (c + \delta (F_t / O) + v)$$

que expressa a determinação da variação da taxa de lucro pela variação do encargo de amortização da potência. Nestas condições, para uma mesma massa de mais-valia, a taxa de lucro varia inversamente ao encargo de amortização da potência¹².

Atendendo à reduzida grandeza da procura industrial no mercado português, pode inferir-se que em P , a transição para escalões superiores de potência levaria com frequência o numerador F_t a aumentar proporcionalmente mais que o denominador O . Alguns testemunhos da época notaram esta associação entre a instalação de motores de maior potência e a diminuição da taxa de lucro para muitos capitais industriais portugueses:

“No calculo da potência de um motor instalado em qualquer fabrica, ha...que distinguir dois casos: 1º Quer-se saber a potência efectiva absoluta do motor...2º Quer-se saber a potência do mesmo motor, relativamente ao conjunto de máquinas operatórias e aparelhos que ele é destinado a accionar.

*Parece-nos precisa esta distinção na pratica, porque...a maior parte dos motores das fabricas são de potência superior á que é exigida pelo trabalho das mesmas fabricas em regime normal. É certo que nos importa, tanto a nós como aos Srs. Industriais conhecer ambos os casos, porem só o segundo deve servir para o calculo do custo do cavalo-vapor, visto que o primeiro não corresponde á potência real exigida pela fabrica, e produziria um erro para menos no custo do cavalo-hora...”*¹³

¹¹ Com um motor de maior potência seriam necessárias mais máquinas operatórias e seria transformada, talvez com maiores desperdícios, uma quantidade maior de matérias-primas, o que faria aumentar o valor das restantes parcelas de capital constante por unidade. Em sentido contrário, esse aumento seria provavelmente compensado por uma maior intensidade do trabalho, logo por um aumento de MV . A hipótese que abstrai dos efeitos destas variações serve apenas para facilidade de exposição mas tem fundamento empírico.

¹² Por outras palavras, a obtenção de cada hora de sobre-trabalho pode necessitar de um custo maior ou menor em potência motriz.

¹³ BRANDÃO, 1911: 38 (sublinhado não original).

Conhecem-se vários casos de firmas que, tendo montado motores cujo funcionamento determinava valores elevados de P , se viram forçadas a investir em segundas indústrias dentro das mesmas instalações, o que raramente conseguia contrariar a tendência para a diminuição das suas taxas de lucro.

3. CASOS HISTÓRICOS DE SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES

Deduz-se então que a superioridade técnica de alguns tipos de motores, reflectida na economia das suas variáveis de capital circulante, pode ser contrariada e até anulada pelas condições de valorização definidas por P , o encargo de amortização da potência. Por exemplo, sabe-se que a substituição dos primeiros modelos de máquinas de vapor já constituiu uma manifestação deste fenómeno. Ao contrário do que pareceu estabelecido durante algum tempo, a difusão das máquinas construídas segundo as patentes de Watt de 1769 e 1782 (respectivamente do condensador separado e do sistema de duplo efeito) foi relativamente lenta nas regiões industriais inglesas. Admitindo-se que durante as últimas décadas do século XVIII o têxtil do Lancashire teve as mais altas taxas de crescimento da industria inglesa, este exemplo torna-se particularmente demonstrativo da grandeza que o produto O terá de atingir, enquanto denominador, quando as variáveis de capital fixo no numerador Ft aumentam com intensidade¹⁴. Em 1775 calculava-se que um motor de Watt teria uma potência útil duas vezes superior à de um Newcomen com o mesmo diâmetro de cilindro, mas que, em contrapartida, teria um preço duas vezes superior. Deve notar-se que, para além dos maiores custos envolvidos na construção de um mecanismo mais complexo, até 1800 o preço de uma máquina de Watt incluía ainda os encargos das patentes. A firma Boulton & Watt recebeu vários testemunhos de como “*the gross sum which (the) engines cost at first, startles all the lesser manufacturers here*” e de como, nas decisões de compra, o seu maior rendimento térmico e a consequente “*saving of fuel*” pesava menos do que as 200-300 libras “*of ready cash*” da aquisição. Esta atitude estava generalizada entre muitas firmas da região de Manchester. Musson e Robinson calcularam que, entre 1775-1800, o número de motores instalados pela firma de Watt correspondesse apenas a 1/3 dos registados no condado e concluíram que apenas as grandes firmas – certamente as que já dispunham de mercados de exportação garantidos – estivessem em condições de os encomendar¹⁵.

Neste ponto são apresentados dois processos de substituição de motores portugueses durante o período 1850-1950 nos quais se tornaram patentes estas contradições da reprodução do valor da potência motriz enquanto elemento de capital.

3.1. A substituição da energia hidráulica pela do vapor no mercado português

Enquanto os problemas de escala dos mercados não eram ainda considerados determinantes e os capitais produtivos continuavam maioritariamente compostos por variáveis de capital circulante, a opinião dominante em Portugal era a de que os motores hidráulicos estavam subaproveitados:

¹⁴ MUSSON; ROBINSON, 1958-9: 418-39.

¹⁵ MUSSON; ROBINSON, 1958-9: 424.

*“Por toda a parte o artificio cria e alimenta o motor, a troco de grande dispêndio: só em Portugal motores naturais baratíssimos se desaproveitam e perdem inutilmente... Só Portugal, país pouco carbonífero, se tem empenhado em empresas dispendiosas pelo emprego do vapor, deixando ao mesmo tempo desaproveitados muitos motores naturais importantes, e topograficamente vantajosos.”*¹⁶

Embora fosse reconhecido que o investimento de capital fixo era mais elevado nas rodas hidráulicas que nas máquinas de vapor aceitava-se que nos custos de funcionamento a diferença seria compensada pelas variáveis de capital circulante, especialmente pelas designadas ep na equação (1)¹⁷. Nas máquinas de vapor portuguesas, o agente motor era obtido a partir da hulha importada da Grã-Bretanha e nas décadas entre 1860-80, as diferenças de preço entre os mercados de origem e o preço C.I.F. oscilaram entre 1-2 e 1-3¹⁸. Em contrapartida, parecia que, pelo menos nas regiões norte e centro do território português, haveria muitos caudais hidráulicos a aproveitar sem encargos.

Conhecem-se vários projectos industriais fundamentados nesta diferença de custos. Em 1865, um engenheiro francês encarregado de avaliar o património da fiação de Tomar, calculava que para obter a potência do motor hidráulico da fiação – 45 c.v. – uma máquina de vapor obrigaria a encargos anuais de carvão na ordem dos 2,7 contos¹⁹. Em 1877, a primeira gerência da Companhia Rio Ave – uma firma formada para instalar fábricas têxteis e de moagem – declarou aos accionistas que, entre os custos de funcionamento de 4 turbinas e os de duas máquinas de vapor de igual potência, a relação seria de cerca de 1-2,3²⁰. Uma obra de divulgação mecânica publicada em 1883 ia mais longe: a relação de custo do cavalo vapor hidráulico para o térmico teria mesmo uma amplitude de variação entre 1- 1,1 e 1- 15,7²¹. Torna-se claro que, considerando apenas as variáveis ep da equação (1), as economias variam directamente com a potência instalada: em 1893, as 2 turbinas da futura fábrica têxtil de Ruães (no Cávado) produziram *“uma economia de reis 15:000\$000 annuaes que se deixa de gastar em combustível”*²².

A experiência viria a mostrar como as concretizações e a ponderação das variáveis nas equações dos custos diferiram frequentemente do esperado. Por exemplo, no caso da Companhia Rio Ave, o tempo de utilização das 4 turbinas (que debitariam um total de 180 c.v.) tinha sido calculado em 300 dias anuais. Atendendo ao que se sabe sobre os caudais

¹⁶ TORRES, 1856: 89.

¹⁷ Sobre a ponderação do capital fixo nos custos de funcionamento das rodas hidráulicas, Torres concluiu: *“O sacrificio a que podem levar, ou por uma só vez ou pelas obrigações permanentes que se podem contrair para a aquisição do motor, está bem longe de rastejar pela pesada e incessante despesa do combustível nos estabelecimentos a vapor.”* TORRES, 1856: 93.

¹⁸ SANTOS, 2000, 2: 60-61.

¹⁹ FABRICA DE FIAÇÃO DE ALGODÃO EM TOMAR, 1865: 13-14.

²⁰ O funcionamento de 4 turbinas de 45 c.v. custaria anualmente 7.755\$000; o de 2 máquinas de vapor de 90 c.v., 17.290\$440. COMPANHIA INDUSTRIAL E AGRICOLA PORTUENSE, 1878: 7-9.

²¹ Note-se que tanto a Comp^a do Rio Ave como A. Corvo usavam a equação de custos (1) com todas as variáveis; tinham mesmo o cuidado de acrescentar na parcela ep os gastos em lubrificantes. Isto mostra que relativamente às suas conclusões apenas se pode questionar a concretização das variáveis, não as equações que usaram. CORVO, 1883: 75-77 e 98.

²² COMPANHIA FABRIL DO CAVADO, 1893.

portugueses, parece excessivamente otimista²³. Na verdade, quando a sua fábrica da Retorta chegou realmente a funcionar, com uma roda hidráulica de apenas 13 c.v., verificou-se que não dispensava uma máquina de vapor “durante a estiagem” e que a instalação do motor hidráulico era um complemento, não uma alternativa ao vapor²⁴. Além disso, tanto neste caso como no cálculo de Andrade Corvo, foram usados preços que parecem exagerados, sobretudo se relativos a consumos no litoral²⁵.

Contudo, a adaptação da energia hidráulica à rotação dos capitais portugueses tinha dificuldades ainda maiores do que as colocadas pelas variáveis de capital circulante. Nos motores hidráulicos, o capital fixo envolvido tendia a crescer com grandes soluções de continuidade. Por exemplo, na comparação dos custos entre a energia hidráulica e térmica na fiação de Tomar, o engenheiro Déjante não incluiu o valor das obras hidráulicas – açude e canais – que a futura companhia iria adquirir, entre outras “pertenças”, por 150 contos²⁶. Este poderá ser um exemplo extremo mas ilustra como, relativamente às variáveis de capital fixo, a relação custo/potência era mais descontínua nos motores hidráulicos que nos térmicos. Aumentar a pressão no gerador ou transformar uma máquina de vapor de baixa pressão em “compound”²⁷ representava um aumento de capital fixo mais proporcional a pequenos aumentos do *output* do que instalar uma turbina²⁸ e/ou realizar obras para uma represa de maior caudal²⁹. Assim, por efeito da elevada ponderação da variável C nos custos de funcionamento Ft, a amortização da potência na passagem para escalões imediatamente superiores era mais gradativa nos motores a vapor que nos hidráulicos. Dada a ausência de

²³ Os cálculos da própria Comp^a mostravam que o “*vasão do rio*” do rio Ave flutuava nesse local entre um máximo de 16,88 litros em Abril e um mínimo de 1,04 em Setembro. COMPANHIA INDUSTRIAL E AGRÍCOLA PORTUENSE, 1878: 7.

²⁴ COMISSÃO DISTRICTAL DO PORTO, 1881: 178.

²⁵ No caso dos cálculos da Comp^a do Rio Ave, quer o preço do carvão a 8,7 reis/kg quer o salário de 800 reis/dia para o maquinista estão sobreavaliados. Os cálculos de A. Corvo são falíveis porque foram retirados de exemplos franceses, que o autor não adaptou ao mercado português. Em relação a este, são factores de erro: o preço do carvão a 7,2 reis/kg (seria 4,5, segundo a média da importação desse ano), o salário de 720 reis para o maquinista (muito superior ao que resultava das taxas salariais portuguesas), a taxa de juro de 5 % (seria de 6%, segundo a C^a do Rio Ave) e o horário de 10 horas (14 na C^a do Rio Ave, 12 como valor modal no Inquérito de 1890).

²⁶ O açude e canais foram encontrados em perfeito estado de conservação, ao contrário das rodas. O edifício estava ainda incompleto e todas as máquinas operatórias “precisam ser renovadas”. FABRICA DE FIAÇÃO DE ALGODÃO EM TOMAR, 1865: 7-9. Pode concluir-se que o valor de 150 contos correspondente aos activos a transitar para nova sociedade representasse principalmente as instalações hidráulicas.

²⁷ O sistema “compound” (à letra, composto) consistia na combinação de cilindros de alta e baixa pressão nos quais o vapor expandia várias vezes o volume com que chegava do gerador. Generalizou-se em Inglaterra e no Continente depois da patente de McNaught em 1845 e serviu para reverter muitos motores de baixa pressão.

²⁸ O custo da turbina e das obras de construção civil necessárias a sua instalação eram sempre elevados, embora não se conheçam muitos casos concretos. A instalação de 4 turbinas da Comp^a Rio Ave, totalizando 180 c.v., foi estimada em 51 contos; a instalação da turbina na fiação da Balsa (Valongo), com apenas 30 c.v., foi estimada em 40 contos. COMPANHIA INDUSTRIAL E AGRÍCOLA PORTUENSE, 1878: 8; COMISSÃO DISTRICTAL DO PORTO, 1881: 171.

²⁹ Em 1881, calculava-se que, no distrito do Porto, as rodas hidráulicas que aproveitavam os caudais na pequena moagem rural teriam um custo de 100\$000, isto é, cerca de 5 vezes menos que uma máquina de vapor. Era nas obras de construção civil necessárias para o aumento da potência hidráulica que se verificavam os maiores agravamentos de custos. As “*despesas de aterros, alvenarias, etc.*” podiam chegar a 92 % do custo da instalação. Para a comparação de preços entre rodas e máquinas de vapor em 1881, COMISSÃO DISTRICTAL DO PORTO, 1881: 415, nota a). Para a ponderação das obras de construção civil nas instalações hidráulicas, CORVO, 1883: 81 e 98.

desniveis acentuados no crescimento do mercado interno, deduz-se que aos capitais portugueses que respondiam a pequenas extensões da procura se tornasse mais fácil diminuir P com a instalação de novos motores a vapor. Sobre os custos do aproveitamento dos caudais portugueses, um engenheiro notava em 1918:

*“Em tése geral, convém dizê-lo, uma queda de água não constitue energia gratuita, como corre no vulgo. – Para utiliza-la tem de empreender-se obras cujo dispendio e por consequencia cujos encargos podem anular qualquer tentativa de exito”*³⁰

Deve acrescentar-se que a necessidade de diminuir P determinava não só a escolha entre motores a vapor e hidráulicos mas também a escolha entre diferentes motores hidráulicos. As rodas tinham um rendimento mecânico inferior às turbinas mas a diferença nos custos de instalação determinava menores encargos de amortização de potência. A gerência da mesma Companhia do rio Ave que tinha planeado instalar turbinas explicou pouco tempo depois por que razão tinha mudado de opinião:

*“Houve a principio ideia de começar logo com turbinas...Mas a pouca vantagem destas sobre as rodas hidráulicas...resolveu-nos a adiar por enquanto o seu emprego, atendendo a que o custo delas excede os nossos recursos, e a força motora de que carecemos é-nos dada por essa maquina mais simples e incomparavelmente mais barata e de mais faceis reparações.”*³¹

Os encargos de amortização da potência explicam também a associação quase exclusiva entre as turbinas e os poucos grandes capitais industriais. Por exemplo, em 1889, para a rentabilização em turbina dos 345 c.v. a captar no rio Alva, uma futura fábrica têxtil seria obrigada a instalar 424 teares, cujo produto seria de cerca de 533 contos³². Assim, apesar de um artigo publicitário de 1897 salientar que o preço das turbinas Knop as punha “*ao alcance tanto da pequena como da grande industria*”, é significativo que 6 dos 7 casos até então instalados em Portugal fossem superiores a 60 c.v. e pertencentes a ramos em que predominava a “*grande industria*”, quase sempre exportadora: têxtil (3 casos), minas, pasta de madeira e uma central eléctrica³³.

3.1.1. Percentagens da potência dos motores hidráulicos e a vapor na indústria “fabril”

Os efeitos dos encargos de amortização da potência são confirmados por indicadores retirados da estatística industrial portuguesa. O quadro 1 apresenta as frequências relativas

³⁰ APOLINARIO, 1918: 111.

³¹ COMPANHIA INDUSTRIAL E AGRICOLA PORTUENSE, 1880: 5 (sublinhado não original). Em 1868, a instalação de uma roda desenvolvendo 50 c.v. - na C^a de Lanifícios de Lordelo - teria custado pouco mais de 6 contos, embora se ignore se aproveitou infra-estruturas já existentes. COMMISSÃO DISTRICTAL DO PORTO, 1881:156.

³² Para uma ordem de grandeza, note-se que em 1881 o produto anual da firma algodoeira com a mais elevada composição orgânica de capital no distrito do Porto - a fábrica de Salgueiros -era de 160 contos. COMMISSÃO DISTRICTAL DO PORTO, 1881:199. Para o projecto da fabrica do Alva, CYSNEIROS, 1889: 14.

³³ ABREU, 1897: 1-2. A transcrição vem em CORDEIRO, 1995: 245-262. Também no caso dos “*principais*” motores hidráulicos instalados na 1^a circunscrição, todos eram superiores a 100 c.v. e 5 dos 6 casos eram têxteis. S. ROMÃO, 1909: 12.

da potência instalada nos dois tipos de motor no sector “*fabril*” do distrito do Porto. Por sector “*fabril*” entende-se:

- em 1881, o conjunto designado por “*fabricas*”, mais os estabelecimentos industriais dispondo de motores dentro da chamada “*pequena industria da cidade*”;
- em 1890, o conjunto dos estabelecimentos industriais com motores de potência conhecida, o que exclui a esmagadora maioria da pequena indústria com motores;
- em 1909 e 1910, o conjunto dos estabelecimentos industriais com motores, com a reserva de que, relativamente aos hidráulicos e pelas razões expostas, os relatórios das circunscrições registavam apenas os “*principais*”.

Com este critério, obtém-se um agregado de motores representativos do capital industrial de composição técnica mais elevada visto o adjectivo “*fabril*” ter sobretudo servido para designar os capitais que incluíam motores artificiais nas suas imobilizações. Como as percentagens se referem à totalidade da potência “*fabril*”, que engloba outros motores não animais (de combustão interna, eléctricos, etc.), a soma das percentagens da energia hidráulica e do vapor é inferior à unidade.

QUADRO 1
Distrito do Porto - percentagens da
potência dos motores hidráulicos e
a vapor na indústria “*fabril*”

Ano	Potência Hidráulica	Potência do Vapor
1881	12,5	87,0
1890	13,5	78,8
1909	2,9	85,2
1910	2,9	82,4

Fontes: para 1881, COMISSÃO DISTRICTAL DO PORTO – *Relatorio apresentado ao Ex.mo Sr. Governador do Distrito do Porto...* Porto, 1881; para 1890, MINISTERIO DAS OBRAS PUBLICAS - *Inquerito Industrial de 1890*, vol. IV, Lisboa, 1891; para 1909, S. Romão, Visconde Villarinho de – *Relatorio dos Serviços da 1ª circunscrição dos Serviços tecnicos da indústria no ano de 1909*. “Boletim do trabalho industrial” nº 39, p. 19-26; para 1910, Girão, Luis Ferreira - *Relatorio dos Serviços da 1ª circunscrição dos Serviços tecnicos da indústria no ano de 1910*. “Boletim do trabalho industrial” nº 57, p. 19-27.

Nesta amostra do capital industrial de composição técnica mais elevada, as percentagens de potência dos motores hidráulicos foram sempre inferiores a 14% e, a julgar pelas frequências registadas no final da década de 1900, tiveram uma tendência descendente. As percentagens do vapor nunca foram inferiores a $\frac{3}{4}$ da potência instalada no distrito.

O quadro 2 apresenta as frequências relativas da potência nos dois tipos de motor no sector “*fabril*” do distrito de Lisboa. Por sector “*fabril*” entende-se aqui:

- em 1881, o conjunto dos estabelecimentos industriais registados pelo inquérito “*directo*”³⁴;

³⁴ COMISSÃO CENTRAL DIRECTORA DO INQUERITO INDUSTRIAL, 1881, vol. 1 e 2. Apesar dos elogios ao trabalho da comissão central, o relator da repartição de estatística considerava que teria havido omissões importantes: dentro do capital privado, os estabelecimentos do ramo gráfico (“*alguns com prelos movidos a vapor*”) e algumas indústrias da madeira, como a marcenaria. Também tinham sido omitidos todos os estabelecimentos industriais do Estado

- em 1890, tal como para o distrito do Porto, o conjunto dos estabelecimentos industriais com motores de potência conhecida;
- em 1917, o conjunto dos motores industriais hidráulicos e de vapor registados pelos serviços da respectiva circunscrição.

Trata-se portanto de outra amostra de capitais representativos do nível mais elevado de composição técnica.

QUADRO 2
Distrito de Lisboa - percentagens da
potência dos motores hidráulicos e
a vapor na indústria “fabril”

Ano	Potência Hidráulica	Potência do Vapor
1881	4,7	95,2
1890	3,2	94,1
1917	0,3	89,3

FONTES: PARA 1881, COMISSÃO CENTRAL DIRECTORA DO INQUERITO INDUSTRIAL – *Inquerito Industrial de 1881. Inquerito directo*, vol. 2 Lisboa, 1883; PARA 1890, MINISTERIO DAS OBRAS PUBLICAS - *INQUERITO INDUSTRIAL DE 1890*, VOL. IV, LISBOA, 1891; PARA 1917, *ESTATISTICA INDUSTRIAL. “BOLETIM DO TRABALHO INDUSTRIAL”*, nº 116. LISBOA, 1926

Relativamente ao distrito do Porto, verifica-se que no de Lisboa as percentagens da potência dos motores hidráulicos eram inferiores e que tiveram igualmente uma tendência descendente. Entre 1881 e 1917, praticamente 90% da potência instalada nas amostras de capitais “fabris” do distrito foi fornecida por motores a vapor.

O quadro 3 apresenta as frequências relativas da potência nos dois tipos de motor no sector “fabril” português, com exclusão dos distritos do Porto e Lisboa. Para facilidade de expressão, este agregado será designado por “*Restantes distritos*”. Por sector “fabril” entendeu-se:

- em 1881, o conjunto dos estabelecimentos industriais que respondeu ao inquérito “*indirecto*” e cujos motores eram de potência conhecida³⁵;
- em 1890 e 1917, conjuntos definidos como os que foram usados para a amostra do distrito de Lisboa.

(“*imprensa nacional, cordoaria, fabrica da pólvora, oficinas de serralheria, fundição e outros*”). MINISTERIO DAS OBRAS PUBLICAS, 1883: 2. De acordo com as limitações de meios e de tempo, deveria “*preferir-se...as industrias que mais directamente estivessem relacionadas com o tratado com a França*.” COMISSÃO CENTRAL DIRECTORA DO INQUERITO INDUSTRIAL, 1881, 2: 2.

³⁵ COMISSÃO CENTRAL DIRECTORA, 1881, 5: 286-315. A amostra do “*Inquerito Indirecto*” totaliza 76 motores a vapor, dos quais se excluíram 47 funcionando no distrito de Lisboa (o “*inquerito indirecto*” não incluiu nenhum do distrito do Porto). Esta amostra não representa tão significativamente a “*grande indústria*” como a que resultou do inquérito directo realizado também no distrito de Lisboa. No entanto, o facto de se tratar de uma amostra formada exclusivamente por estabelecimentos com motores artificiais torna-a comparável para este efeito.

QUADRO 3 – Restantes distritos nacionais (excluindo Porto e Lisboa) - percentagens da potência dos motores hidráulicos e a vapor na indústria “fabril”

Ano	Potência Hidráulica	Potência do Vapor
1881	48,6	49,7
1890	47,0	49,3
1917	23,6	57,0

FONTES: PARA 1881, COMISSÃO CENTRAL DIRECTORA DO INQUERITO INDUSTRIAL – *Inquerito Industrial de 1881*, vol. 5 Lisboa, 1882; PARA 1890, MINISTERIO DAS OBRAS PUBLICAS - *INQUERITO INDUSTRIAL DE 1890*, VOL. III E IV, LISBOA, 1891; PARA 1917, *ESTATISTICA INDUSTRIAL*. “BOLETIM DO TRABALHO INDUSTRIAL”, Nº 116. LISBOA, 1926

Nos “Restantes distritos”, em que predominavam capitais de composição técnica inferior à média, o equilíbrio entre os totais de potência fornecidos pelos dois tipos de motor era maior. Nas duas primeiras amostras, as percentagens da potência hidráulica foram inferiores às do vapor apenas por pouco mais de 1% ; embora tivessem também uma tendência descendente, em 1917 representavam ainda cerca de $\frac{1}{4}$ da potência instalada. Nesta última amostra, as percentagens do vapor representavam pouco mais de metade do total da potência instalada no sector “fabril” destes distritos.

3.1.2. Potências médias dos motores hidráulicos e a vapor na indústria “fabril”

As amostras consideradas no ponto anterior também permitem observar a evolução da potência média dos motores. Para cada amostra, o quadro 4A mostra como variou a potência média dos motores hidráulicos e o quadro 4B como variou a dos motores a vapor.

QUADRO 4A – PORTUGAL - Potência média dos motores hidráulicos na indústria “fabril” (em c.v.)

	1881 ³⁶	1890	1909	1910	1917
Porto	40,5	21,2	19,2	24,4	
Lisboa	17,9	7,7	-	-	40,0
Restantes distritos	19,2	9,4	-	-	8,7
Total nacional	21,2 ³⁷	10,0	-	-	8,9

³⁶ As amostras de 1881 usadas no quadro 4(A-B) resultam exclusivamente da recolha de informações contidas no texto do inquérito. Na “Recapitulação” elaborada pelos relatores no volume final, as variáveis “numero de motores” e “força” não têm correspondência unívoca, isto é, dentro da primeira não foi discriminado o total de motores de potência desconhecida. O erro de contagem da “Recapitulação” pode observar-se através das potências médias dela deduzidas. No caso dos motores hidráulicos, algumas não têm qualquer significado: Porto - 0,2 c.v.; Lisboa - 10,8 c.v.; Restantes distritos - 7,7 c.v.; Total nacional - 1,2 c.v. No caso dos motores a vapor, as médias da “Recapitulação” aproximam-se mais das do quadro 4 pois o total de casos de potência desconhecida era menor: Porto - 17,5 c.v.; Lisboa - 27,5 c.v.; Restantes distritos - 16,5 c.v.; Total nacional - 21,5 c.v. Em consequência da não verificabilidade das frequências absolutas, a “Recapitulação” não foi considerada como amostra. MINISTERIO DAS OBRAS PUBLICAS, 1883: 88-89.

³⁷ No caso do ano de 1881, as médias do total nacional (nos quadros 4 A e 4B) foram obtidas a partir do “Inquérito Indirecto” desse ano. Assim, o “total nacional” de 1881 não resulta da soma dos totais parciais dos distritos do Porto, Lisboa e “Restantes distritos” visto que os dois primeiros provêm de amostras diferentes (respectivamente o relatório da Comissão Distrital do Porto e o “inquerito directo” do distrito de Lisboa).

QUADRO 4B – PORTUGAL - Potência média dos motores a vapor na indústria “fabril” (em c.v.)

	1881	1890	1909	1910	1917
Porto	19,3	25,0	62,4	61,5	93,1
Lisboa	21,4	17,8	-	-	115,3
Restantes distritos	20,4	25,2	-	-	38,1
Total nacional	23,0	21,6	35,7 ³⁸	-	72,2

Sobre o quadro 4A e relativamente ao período 1881-1910/17 verifica-se que:

- nos casos do Porto e “*restantes distritos*”, a potência média dos motores hidráulicos teve uma tendência descendente e as suas taxas de crescimento anual³⁹ foram, respectivamente: -1,7 e -2,2%; no caso de Lisboa, houve um crescimento anual positivo mas cerca de 2 vezes inferior ao crescimento que, no mesmo distrito, teve a potência média do vapor (2,3 contra 4,8%). No total nacional, a potência média dos motores hidráulicos teve um crescimento anual negativo: taxa de -2,4%.

Sobre o quadro 4B e relativamente ao período 1881-1917 verifica-se que:

- a potência média dos motores a vapor teve um crescimento positivo nas três amostras; o crescimento anual foi mais intenso nos distritos do Porto e Lisboa - respectivamente 4,5 e 4,8% - que nos “*restantes distritos*”: 1,8%. No total nacional, a potência média dos motores a vapor teve um crescimento anual positivo: taxa de 3,2%.

Conclusões:

Pode concluir-se que, para os capitais industriais de maior composição técnica, a energia hidráulica se tornou residual. Além de fornecer uma percentagem energética cada vez menor (quadros 1-3), as instalações hidráulicas tinham uma potência média tendencialmente menor (quadro 4A). Em sentido inverso, tanto as percentagens da energia a vapor como a potência média dos motores a vapor apresentam tendências de crescimento positivo.

Sem outras indicações, este fenómeno deverá ser interpretado como uma mudança na curva da procura de motores. Com um PNB a crescer a taxas moderadas, os investimentos adicionais e as renovações de capital fixo tendiam a instalar motores térmicos em vez de novos motores hidráulicos. É evidente que para este resultado concorreram vários factores, como as especificidades técnicas que por vezes impediam a instalação de maiores motores hidráulicos (os caudais potencialmente utilizáveis são limitados) ou as tendências favoráveis

³⁸ Média relativa às “*Máquinas a vapor na industria fabril*” no ano de 1907. SIMÕES, 1908: 374.

³⁹ As taxas de crescimento anuais foram calculadas a partir dos dados originais. O facto de não haver uma série temporal e as reservas que se podem fazer quanto às frequências absolutas de algumas amostras justificam que as taxas de crescimento não tenham sido calculadas a partir de curvas de regressão.

que afectaram os custos de funcionamento F dos motores térmicos (a diminuição dos custos de transporte tendia a reduzir o preço do carvão importado). Contudo, considerando a reduzida extensão dos mercados de realização, pode concluir-se que, em função do investimento em capital fixo na passagem para escalões superiores de potência ter maiores soluções de continuidade nos motores hidráulicos, os encargos de amortização P determinaram a diminuição da sua procura por parte da indústria portuguesa.

3.2. A substituição da energia térmica pela eléctrica no mercado português

Para os motores eléctricos, na condição de a produção do agente motor estar suficientemente concentrada a montante, todas as variáveis da equação (1) apresentavam concretizações mais rentáveis que para qualquer outro motor entretanto conhecido. As instalações eletrificadas permitiam economias de capital fixo (os motores eléctricos têm preços, taxas de obsolescência e despesas de manutenção inferiores aos hidráulicos e térmicos) e, especialmente, de capital circulante visto que a produção de energia podia ser separada do consumo. Desenvolveu-se assim um ramo de investimento a montante da maioria dos capitais industriais – o do fornecimento de energia – e a escala das centrais eléctricas deixou de ser proporcional aos motores individuais que a transformavam em trabalho⁴⁰.

Para além do aumento de produtividade resultante de a energia se ter tornado uma mercadoria, a electricidade permitia a transmissão individual de potência, do que resultavam economias de capital adicionais:

- a) rendimentos mecânicos muito superiores, visto que as perdas de potência diminuam. Nas transmissões mecânicas feitas a partir de motores centrais, eram necessários cabos e correias para ligar o motor (hidráulico ou a vapor) a cada máquina operatória. As perdas eram importantes, especialmente em situações de correias mal instaladas ou deterioradas e obrigavam a elevados custos de manutenção, (que por vezes incluíam mesmo um posto de trabalho específico: o “*sapateiro*” das fábricas do Porto). Em 1911, três estudos sobre as transmissões em fábricas inglesas concluíram que as perdas médias de energia se situavam entre 38,6 e 69%⁴¹.

Com motores eléctricos (mesmo contando as perdas no dínamo e na “canalização eléctrica”), conseguia-se que o total de energia desaproveitada fosse apenas de 20%⁴². Conseguia-se igualmente uma activação mecânica mais regular do que com qualquer outro motor: apesar dos reguladores de inércia (como o volante), as velocidades dos

⁴⁰ A produção de energia enquanto ramo de capital surgiu com as companhias de gás. Contudo, a separação que estas operaram entre produtores e consumidores de energia foi muito menor que a do mercado da electricidade. Quase todo o gás fornecido era para iluminação e a rede de distribuição limitava-se à canalização urbana. Além disso, muitos desses motores - especialmente localizados fora das cidades - continuaram, através de gasógenios, a funcionar com gás produzido nas suas próprias instalações. SANTOS, 2000, 2: 293-298.

⁴¹ Ferreira do Amaral acrescentava que “*Se idênticas experiências fossem feitas em Portugal não receio dizer...que esses numeros teriam valores bastante mais elevados ainda*”. AMARAL, 1911: 313. Provavelmente com base na sua experiência das oficinas ferroviárias, Duro Sequeira calculava que variassem entre 20 e 60% da potência efectiva. SEQUEIRA, 1902: 92-93.

⁴² O rendimento do dínamo era calculado em cerca de 80%. SEQUEIRA, 1902: 93.

motores térmicos, especialmente das máquinas de vapor, eram mais descontínuas, o que acelerava a deterioração das máquinas operatórias movidas.

- b) economias nos custos dos funcionamentos de máquinas operatórias, que com a electrificação se podiam autonomizar. Com a transmissão de potência por grupo, a activação intermitente de qualquer máquina tinha custos fixos elevados: os custos de funcionamento de qualquer motor central mantêm-se relativamente constantes, independentemente do número de máquinas operatórias que são movidas. Embora estas pudessem ser activadas ou desactivadas através das correias de transmissão, esse trabalho frequentemente não era feito⁴³. Com a transmissão individual de potência,

*“a machina motora terá só a dispender a potencia necessaria ás machinas-ferramentas em serviço no momento considerado, e não a que seria precisa para mover o veio geral e todo o conjunto de rodas e tambores.”*⁴⁴

- c) economias de capital fixo em instalações fabris. Ao eliminar as redes de transmissão por correias, a transmissão individual fazia ganhar espaço dentro da oficina, o que equivalia à ampliação da capacidade produtiva dos edifícios sem investimentos adicionais. Diminuía também os custos com mecanismos elevatórios necessários à maquinação de componentes pesados, uma vez que a transmissão individual permitia levar a ferramenta à peça⁴⁵.
- d) economias de capital variável. Devido aos cabos e correias, a transmissão através de motor central e árvore era uma das principais causas de acidentes laborais, especialmente nas fábricas têxteis sobrelotadas com terminais de máquinas operatórias. Numa altura em que pressão operária já estava a conseguir legislação específica sobre seguros e acidentes de trabalho, os “*desastres*” tornavam-se despesas laborais cada vez mais importantes para as firmas industriais (no caso português, especialmente depois do regulamento da lei nº 83, aprovado em 1914)⁴⁶.

Na década de 1910, sabia-se que em todos os mercados, mesmo nos mais desfavorecidos em termos energéticos, a electrificação estava a permitir a mecanização dos pequenos capitais industriais⁴⁷. A experiência dos consumidores portugueses tinha também mostrado que, mesmo pagando facturas que permitiram às companhias de electricidade do Porto e Lisboa realizar lucros acima da média, os custos de funcionamento dos motores eléctricos já

⁴³ “Tenho visto alguns casos em que um pesadissimo torno, que só muito raramente funciona, está ligado por meio de uma correia a uma transmissão que acciona conjuntamente tornos ligeiros que trabalham continuamente.” AMARAL, 1911: 313.

⁴⁴ SEQUEIRA, 1902: 93.

⁴⁵ “...por intermedio da energia electrica...torna-se possivel levar a machina-ferramenta junto da grossa peça que se quer trabalhar; dispondo-a e agrupando-a com outras conforme a natureza do trabalho que se pertende effectuar.” SEQUEIRA, 1902: 92.

⁴⁶ Decreto nº 938 de 9/10/1914. *Regulamento dos desastres no trabalho*. “Diário do Governo” nº 184. Só depois desta regulamentação os capitais industriais se começaram a associar (ou a recorrer a companhias de seguros) para segurar a sua força de trabalho.

⁴⁷ Para o caso do Japão, existiu uma elevada correlação entre a mecanização das pequenas empresas (até 9 operários) e a percentagem de motores eléctricos. MINAMI, 1977: 951.

podiam ser inferiores aos dos motores a gás pobre (os mais económicos até então). Em 1911, Ferreira do Amaral calculava que o custo F de um motor a gás pobre de 10 c.v. já seria superior em cerca de 3% aos de um motor eléctrico de igual potência, “apesar do preço do combustível ser nos primeiros muito inferior ao da energia eléctrica para os segundos”⁴⁸.

3.2.1. O mercado da energia eléctrica e a rotação de capital

Nos custos de funcionamento dos motores eléctricos, a variável mais determinante pertence ao capital circulante: o custo do agente motor, isto é, da corrente eléctrica. Com a dissociação entre fornecedores e consumidores de energia, esta variável passou a depender sobretudo das economias de escala no novo ramo de investimento, isto é, das condições em que se fazia a rotação do capital fixo dos fornecedores de electricidade.

A energia eléctrica é uma mercadoria cujo valor de uso tem a especificidade de não poder ser armazenada⁴⁹. Daqui decorre que, para qualquer fornecedor (isto é, para os capitais investidos em centrais - hidro ou termo-eléctricas - e em linhas de distribuição), os encargos fixos representam os custos das instalações necessárias ao fornecimento da potência máxima que, a qualquer momento, pode ser solicitada no seu mercado. Nos preços de produção, estes custos somam-se aos chamados encargos de energia, proporcionais à energia debitada, e aos encargos de clientes, relativos à extensão em que é feita distribuição da electricidade⁵⁰.

No caso das centrais hidro-eléctricas, nas quais as economias de capital decorrentes da centralização são maiores, os encargos fixos são compostos pelas amortizações financeiras, determinadas pela taxa de juro, e pelas amortizações dos bens de capital fixo necessários à produção de energia: edifícios e fundações, barragem e obras hidráulicas, comportas, turbinas e outras máquinas eléctricas rotativas, transformadores, etc. O custo de produção do kW é portanto “quasi exclusivamente determinado por encargos de capital”, isto é, encargos de capital fixo materializado nas instalações e equipamentos, e cuja desvalorização anual está estatisticamente estabelecida⁵¹. Como tal, o custo do kW varia inversamente à potência máxima necessária: os mesmos bens de capital podem determinar diferentes acumulações de energia e portanto, custos unitários diferentes. Além disso, os preços de produção do kWh, isto é, da energia efectivamente debitada, variam inversamente aos factores de utilização da capacidade⁵².

⁴⁸ AMARAL, 1911: 310. A tarifa “usual” da Comp^a de gaz e Electricidade de Lisboa para 1 c.v./hora transmitido por electricidade era de 40 reis.

⁴⁹ Pode, para efeito do cálculo do capital fixo a investir, abstrair-se do efeito dos acumuladores em função da reduzida quantidade de energia que podem debitar em momentos de carga elevada.

⁵⁰ Sendo p, e e n, os encargos relativos ao kW, ao kWh e a cada cliente, e sendo P, E e N, respectivamente a potência máxima instalada, a energia debitada e o número de clientes, a equação dos custos de produção da central é portanto $D = pP + eE + nN$. Para a análise dos factores, BARROS, 1949: 337-366.

⁵¹ As taxas a amortizar e que incluem as reparações variam em função de vários factores, incluindo as condições climatéricas. Para determinadas regiões, a experiência permite elaborar tabelas; no caso português, o eng^o Paulo de Barros estabeleceu, entre outros, para edifícios e fundações, 3%; para barragens, 4%; para outras obras hidráulicas, 2%; para comportas, turbinas hidráulicas e transformadores, 6%; para máquinas eléctricas rotativas, 6,5%; para a restante aparelhagem eléctrica, 7,5%. BARROS, 1949: 342.

⁵² Por exemplo, em 1949, o eng^o Paulo de Barros projectava para duas das maiores hidro-eléctricas portuguesas - Castelo do Bode e Venda Nova - preços de custo por kW instalado quase idênticos: respectivamente, 3 962\$00 e 4 088\$00. Contudo, como as taxas de utilização seriam, respectivamente de 26 e 20,8%, os correspondentes

Visto que a procura de energia eléctrica depende do custo do kWh e este da escala das centrais eléctricas, pode dizer-se que a electrificação foi uma função da concentração de capital fixo⁵³. A necessidade da concentração de capitais para a produção de energia eléctrica estava reconhecida em todos os mercados:

*“N’esta conformidade a característica da industria electrica em 1910 foi a concentração, o aumento do raio de acção das estações centraes, e como consequencia a diminuição do seu numero e o aumento consideravel da potencia individual das estações que subsistem.”*⁵⁴

3.2.2. O mercado da energia eléctrica em Portugal

Em Portugal, o nível de concentração das centrais eléctricas estava condicionado pela reduzida extensão da procura de potência. Como tal, para os produtores de energia, não havia consumidores suficientes para amortizar grandes concentrações de capital fixo⁵⁵. Nem a quase interrupção da importação de hulha durante a I Guerra conseguiu acelerar a formação de sociedades de capital no ramo energético, apesar de os efeitos da inflação sobre os custos F dos motores térmicos terem levado várias vezes as associações industriais a discutir projectos de centrais eléctricas. Em Janeiro de 1916, o presidente honorário da A.I. Portuense expôs as dificuldades do capital industrial numa entrevista:

“Confesso que a industria do norte só será verdadeiramente grande industria quando lhe fôr proporcionada força motriz barata. Mas para uma empresa d’esta ordem, não vejo de onde possam vir os capitaes. Os nossos capitalistas não visam a grandes negocios, e uma empresa que se propuzesse fornecer energia á industria portuense, deveria ser uma exploração monstruosa, dependendo de muitos milhares de contos. Os resultados d’essa empresa deviam assumir interesses magnificos, mas para a fundar, o valimento da industria não chega (...)

*– Então acha o snr. Nogueira que devemos desanimar na questão da energia electrica?
– Acho que não temos meio de resolver a dificuldade financeira da empresa... De uma empresa modesta, sem larga capacidade de produção, sem elementos para garantir a estabilidade e modicidade no preço do kilowatt, não se falle. Seria empresa nascida e fallida, ou porque outra mais poderosa se creasse, ou porque os seus fins se não obtivessem. Ou uma empresa monstro, capaz de resolver o problema geral, ou deixe-se estar o que está.”*⁵⁶

preços de produção do kWh foram calculados em 19,5 e 24,2 centavos, o que equivale a uma diferença de cerca de 24%. BARROS, 1949: 348.

⁵³ “Ora, o capital a dispendir é, com pequena diferença, o mesmo, seja qual fôr a carga, ou utilização da potência total da instalação, visto que a unica economia a fazer n’aquelle dispendio proviria tão sómente da redução da potencia e proporcionalmente do custo das machinas...o que representa apenas uma pequena parte da importancia total da instalação.” BRANDT, 1916:132-33.

⁵⁴ *Retrospectos de 1910*, 1911: 79.

⁵⁵ Ainda em 1913, o autor de um projecto para a construção de uma central hidroeléctrica colocava as tradicionais reservas dos capitais portugueses: “E haverá consumidores? É esta uma questão primordial a que é preciso responder afirmativamente, antes de meter hombros à empresa da construção de uma officina hidro-electrica”. NOGUEIRA, 1913: 166-167.

⁵⁶ *A situação da industria em 1915*, 1916: 7-8 (sublinhado não original).

Pouco tempo depois, a alta de preços do carvão inglês levou a que, numa sessão da A. I. Portuense, fosse apresentado um plano de aproveitamento hidroeléctrico⁵⁷. O depoimento do representante da empresa a formar para o efeito reconhecia igualmente que a dificuldade estava no facto de que esta

*“não poderia constituir-se com um capital inferior a 3:000 contos, em parte subscripto em Hespanha e parte em Portugal, se os industriaes do Porto quizessem contribuir para uma obra que principalmente se destinava a servil-os.”*⁵⁸

Visto que a centralização de capital no ramo da produção de electricidade demorou a atingir os níveis necessários à diminuição do preço do kWh e portanto, dos custos F dos motores eléctricos, a formação da procura portuguesa de electricidade foi lenta e desenvolveu um verdadeiro círculo vicioso no mercado da energia.

Por parte das indústrias consumidoras de energia e sob pena de perdas de capital fixo, a substituição de motores térmicos e hidráulicos pelos eléctricos tem que esperar pela completa amortização dos equipamentos não eléctricos já instalados. Em mercados de realização mais extensos que o português, a desvalorização de capital fixo que os consumidores de energia teriam de fazer para instalarem mais rapidamente motores eléctricos poderia ser menor: com valores baixos para os encargos de amortização de potência, os custos de capital fixo dos motores podem ser imputados degressivamente⁵⁹. Deste modo, no numerador Ft, a ponderação das variáveis de capital circulante, que podem incluir pequenas variações no custo do kWh, sobe mais rapidamente. Em mercados pequenos como o português, os encargos P eram sobretudo determinados pelo capital fixo presente em Ft, que necessitava de mais rotações para atingir valores residuais. Para compensar a desvalorização de equipamentos cujo retorno encaixado ainda estava longe do custo de substituição, seria necessária uma redução do custo do kWh superior à dos grandes mercados de electricidade, isto é, precisamente o contrário do que tendia a passar-se em Portugal.

⁵⁷ Xavier Esteves previa a insuficiência da produção do Lindoso, a que atribuía apenas 3.500-5000 c.v. e adiantava que “*Em melhores condições...lhe parecia estar a do Rabagão, affluente do Cavado, cuja energia facilmente se conduziria para o Porto e que...atingiria o poder de 15.000 cavallos. Mas além d’esta, havia no Douro uma outra fonte de energia que estava estudada e que tinha todas as probabilidades de exito. Era constituida por uma serie de quedas do Douro internacional, estando a parte hespanhola já concedida a uma empreza que tentava formar-se para lhe associar outras quedas no Douro portu-guez e servir todo o norte de Portugal.*” Este último projecto seria capaz de fornecer nada menos de 40.000 c.v. *Associação Industrial Portuense (sessões da direcção de 4 e 18 de fevereiro)*, 1916: 47-48. Como se sabe, estas etapas do aproveitamento hidroeléctrico foram executadas nas décadas 1940-60. No plano técnico, a etapa do aproveitamento do Rabagão seria projectada em 1917, com o estudo do engº Paulo Brandt, BRANDT, 1916: 132-144.

⁵⁸ Corton Viguera, o representante da empresa hidro-eléctrica propôs em seguida um plano de emissão de acções. O montante a subscrever era metade do que pouco tempo antes tinha sido previsto por A. F. Nogueira (5-6.000 contos no mínimo) mas estava ainda acima do que os capitais industriais portugueses pareciam dispostos a oferecer. *Associação Industrial Portuense (sessões da direcção de 4 e 18 de fevereiro)*. 1916: 48.

⁵⁹ Os capitais com baixos encargos de amortização da potência têm margens que lhes permitem imputar os custos fixos dos motores a taxas de amortização superiores durante os seus primeiros anos de vida útil. Com estas amortizações degressivas, ganham superioridade técnica na medida em que mais rapidamente atingem valores residuais e podem adquirir, com um mínimo de perdas, os motores mais recentes, de maior rendimento.

Assim, a oferta de energia eléctrica estava condicionada pelo facto de o número de consumidores ser, a curto prazo, insuficiente para amortizar as grandes centrais que reduziriam os preços do kWh. Em contrapartida, os preços do kWh eram demasiado elevados para levarem ao crescimento rápido do consumo da electricidade.

3.2.2.1. Percentagens da energia eléctrica na indústria “fabril”

O atraso na formação de um mercado para a electricidade e estes efeitos dos encargos de amortização da potência podem também ser seguidos na estatística industrial portuguesa, embora com maior dificuldade. Os motores eléctricos⁶⁰ começaram a ser instalados em Portugal na década de 1880 mas a sua estatística foi ainda menos rigorosa que a dos hidráulicos e térmicos⁶¹. Só para o ano 1917 se pode obter uma primeira ordem de grandeza da distribuição da energia eléctrica na indústria.

QUADRO 5 – PORTUGAL - Potência total instalada na indústria – Ano de 1917⁶²

Tipo de motor	Distrito do Porto - c.v. ⁶³	%	Distrito de Lisboa -c.v.	%	Total nacional - c.v.	%
Potência em motores hidráulicos e térmicos	21.325,0	84,5	48.819,0	84,5	110.405,2	85,3
Potência em centrais hidroeléctricas, mistas ou termoeléctricas (para usos industriais e outros)	3.908,6	15,5	8.921,6	15,5	19.040,0	14,7

FONTES: PARA OS MOTORES HIDRÁULICOS E TÉRMICOS, *ESTATÍSTICA INDUSTRIAL*. “BOLETIM DO TRABALHO INDUSTRIAL”, nº 116. LISBOA, 1926; PARA AS CENTRAIS ELÉCTRICAS, APOLINÁRIO, 1918: 105-09.

⁶⁰ Em 1890, o Inquérito industrial registou 9 motores eléctricos (4 no distrito do Porto e 5 no de Lisboa). MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, 1891.

⁶¹ Os motores eléctricos eram os chamados motores “secundários”, isto é, retransformadores da energia hidráulica, do vapor ou dos gases de combustão mas os dínamos estavam fora do controle das Circunscrições industriais. Deste modo, o erro de subestimação dos quantitativos da potência instalada cresceu na razão directa do total de centrais de transformação eléctrica. Os inspectores das Circunscrições tinham consciência desse fenómeno. Em 1923, o da 1ª apontava no seu relatório que ninguém estava a registar os motores eléctricos: “...as Circunscrições Industriais não registam os motores empregados para accionar dínamos...visto a fiscalização destes motores pertencer à Repartição das Industrias Electricas que, até hoje não me consta ter elaborado quaisquer estatísticas que dêem a conhecer o movimento dos motores instalados para os fins já citados. Conveniente seria que este serviço estivesse centralizado nas Circunscrições Industriais, atendendo a que o seu pessoal técnico tanta competencia tem para vistoriar motores destinados a fornecer directamente força motriz como para vistoriar motores destinados a accionar dínamos.” VIEGAS, 1926: 14.

⁶² Apolinário não incluiu neste quadro a potência total da central hidroeléctrica do Lindoso nem a da central termoeléctrica Tejo (a soma das suas instalações completas representava cerca de 20 000 c.v.) visto que a instalação de ambas só terminou depois da sua compilação. MARIANO, 1993: 110.

⁶³ A estatística de 1917 não inclui os motores hidráulicos do distrito do Porto.

Verifica-se que, aceitando estes números, a potência fornecida pelas centrais eléctricas era inferior a 15% do total instalado na indústria, tanto nos dois distritos mais industrializados como no total nacional⁶⁴.

Com agregados de procura energética e níveis de concentração de capital inferiores aos da generalidade dos mercados europeus⁶⁵, a indústria portuguesa começou maioritariamente por depender, para os seus consumos de electricidade, de:

- consórcios estrangeiros⁶⁶, obrigados pelos baixos factores de utilização das centrais regionais a fazer pedidos de concessão para linhas de distribuição nacional⁶⁷. Em 1947, 57,1% da electricidade consumida era produzida em centrais de capital estrangeiro;
- pequenas centrais de rentabilidade mínima⁶⁸ que correspondiam a capitais de rotação mais rápida – especialmente os da têxtil – e cujos ciclos de vida dos equipamentos – frequentemente termo-eléctricos – eram muitas vezes ultrapassados. Entre 1928-1947 o total de centrais aumentou cerca de 75%.

QUADRO 6 – PORTUGAL - Potências instalada em centrais eléctricas

	Total de centrais	kW instalados	Wh (milhões)	Potência média (kW)	% kW termo-eléctricos
1928	354	135 722	216,9	383,4	75,2
1947	622	328 795	722,1	528,6	57,3

Fonte: a partir de CAMPOS, 1949: 367-68

Como notava Ezequiel de Campos, em 1947 havia ainda 566 centrais com menos de 500 kW, “*tôdas de valor mesquinho*” e para as quais já tinha proposto a paralisação “*sem demora*”.⁶⁹

Dentro destas condições de valorização do capital, só uma solução permitiria aumentar, ao mesmo tempo, a oferta e a procura energética: a apropriação do ramo da electricidade pelas sociedades anónimas. De facto, só com elas, isto é, com a possibilidade de alinhar a

⁶⁴ Há razões para supor que para efeitos de energia industrial, as percentagens da energia eléctrica contêm um erro por excesso. O quadro 5 inclui toda a energia eléctrica instalada, o que compreende a iluminação, viação urbana e estabelecimentos industriais.

⁶⁵ Em Lisboa, só em 1913 a Central da Boavista atingiu os 7.150 KW. No Porto, a primeira central térmica para comercialização de energia eléctrica - a Sociedade de Energia Eléctrica do Porto - foi estabelecida em 1907, com um grupo de 1.750 KW. SOUSA, 1998: 150-151.

⁶⁶ Como a Electro del Lima no Alto Lindoso ou a sua subsidiária na distribuição, a União Eléctrica Portuguesa, que na opinião de Ferreira Dias, constituía um “*feudo espanhol em terra portuguesa*”. Citado em ALVES, 1999: 351.

⁶⁷ Ezequiel de Campos argumentou a favor da concessão da linha de 60 kV À União Eléctrica Portuguesa por ser “*muito demorada, dentro do Noroeste, a saturação das suas centrais de valor regional*”. CAMPOS, 1932: 8.

⁶⁸ Ainda em 1933, um industrial do norte propunha a instalação de centrais termoeléctricas em vez das hidroeléctricas. As duas primeiras razões apontadas eram: “*1º - Porque fica mais barata a sua instalação*”. “*2º - Porque é uma realização a muito mais curto prazo do que uma barragem*”. Claro que mesmo assim, era feito um apelo aos capitais do Estado para a instalação da rede. ROCHA, 1933: 11.

⁶⁹ CAMPOS, 1933: 5, 7 e 21.

taxa de lucro pelos níveis da taxa de juro, surgiu uma outra curva de oferta, que depois recuperou mesmo grande parte do atraso na exploração dos recursos hidro-eléctricos⁷⁰. Contudo, como a formação do capital financeiro depende dos níveis gerais de acumulação, também este factor de aceleração do processo da electrificação não deixou de aparecer já com a sua quota parte de atraso histórico. Como tal, a percentagem da hidro-electricidade no consumo energético cresceu sobretudo a partir do final do período aqui considerado (décadas de 1940-50).

4. CONCLUSÕES

A substituição de motores e fontes de energia no aparelho produtivo português apresenta as seguintes características:

- as potencialidades hidráulicas eram conhecidas mas não só foram subaproveitadas como a sua utilização entrou em regressão relativa desde, pelo menos, a década de 1880;
- o pleno aproveitamento hidro e termo-eléctrico⁷¹ dos recursos portugueses foi mais tardio que para a generalidade da indústria europeia.

Ambos os fenómenos reflectem a subordinação da racionalidade técnica às condições de valorização do capital. O aproveitamento de motores de maior rendimento esteve condicionado pelos encargos de amortização da potência e esta pela configuração do mercado disponível, que neste período coincidiu praticamente com o mercado interno e a sua pequena extensão colonial. Esta característica da realização do capital-mercadoria, ao determinar as dotações das amortizações da potência, determinou também o crescimento da indústria portuguesa. Pode facilmente admitir-se que, com uma outra situação geográfica (que, por exemplo, possibilitasse o acesso a grandes mercados de exportação) ou histórica (como o êxito na constituição de um extenso mercado colonial protegido), menores encargos de amortização da potência teriam permitido uma mecanização mais intensa. Nestas condições, uma produtividade superior permitiria o acesso a mais mercados de exportação e estaria assim criado um círculo virtuoso para a acumulação de capital, que também anteciparia os factores de aceleração do mercado da electricidade: a formação de capital financeiro e das sociedades anónimas. Conclui-se que a substituição de formas de energia em Portugal constitui mais uma demonstração da inexistência da “economia” pura, isto é, outra demonstração da realidade da “economia política”.

Maciel Morais Santos

⁷⁰ Em 1955, já 24,3% do consumo energético português era fornecido pela produção hidro-eléctrica. SUDRIÁ, 1994: 339.

⁷¹ Deve notar-se que existiam jazigos portugueses de antracite (nomeadamente em S. Pedro da Cova e no Pejão) que também só a partir da I Guerra começaram a ter um consumo industrial. Para as suas dificuldades de integração no capital produtivo português e outros efeitos dos encargos de amortização da potência, SANTOS, 2000, 2: 54-60.

FONTES E BIBLIOGRAFIA

1. Fontes estatísticas impressas

- COMISSÃO CENTRAL DIRECTORA DO INQUERITO INDUSTRIAL – *Inquerito Industrial de 1881*. Lisboa, 1881-1883.
- COMISSÃO DISTRICTAL DO PORTO – *Relatório apresentado ao Ex.mo Sr. Governador do Distrito do Porto...* Porto, 1881.
- MINISTERIO DAS OBRAS PUBLICAS... *Resumo do Inquérito Industrial de 1881*. Lisboa, 1883.
- MINISTERIO DAS OBRAS PUBLICAS - *Inquerito Industrial de 1890*, Lisboa, 1891.
- Estatística Industrial. Ano de 1917*, “Boletim do Trabalho Industrial”, n. 116. Lisboa, 1926.

2. Bibliografia

- A declaração ministerial*, 1915. “O Trabalho Nacional”, nº 12, p. 353-356.
- A situação da indústria em 1916* “O Trabalho Nacional”, nº 13, p. 1-9.
- ABRAGÃO, Frederico de Quadros, 1956 – *Caminhos de Ferro Portugueses – esboço da sua história*, vol. 1. Lisboa.
- ABREU, A., 1897 - *As turbinas*. “Indústria e agricultura”, Porto, nº 2.
- ALVES, Jorge Fernandes, 1999 – *Cooperativismo e Electrificação Rural. A cooperativa eléctrica do Val d’Este*. “População e Sociedade”, nº 5, p. 339-423.
- AMARAL, A. Ferreira do, 1911 – *Motores electricos*. “Revista de Obras Publicas e Minas”, vol. LXII, nº 499-500, p. 307-332.
- APOLINARIO, Maximiano, 1918 - *A industria da energia electrica em Portugal*. “Revista de Obras Públicas e Minas”, nº 583-588, p. 103-113.
- Associação Industrial Portuense (sessões da direcção de 4 e 18 de fevereiro)*, 1916. “O Trabalho Nacional”, nº 14, p. 45-48.
- BARROS, Paulo de, 1949 – *O preço de custo da energia eléctrica em Portugal*. “Indústria Portuguesa”, Ano XXII, nº 255-256, p. 337-366.
- BRANDÃO, João Rodrigues Pinto, 1911 - *Relatório dos Serviços da 2ª Circunscrição...no ano de 1909*. “Boletim do Trabalho Industrial”, Lisboa, nº 41.
- BRANDT, Paulo, 1916 – *Fornecimento de energia eléctrica*. “O Trabalho Nacional”, nº 17, p. 132-145.
- CAMPOS, Ezequiel de, [1932] – *A Electrificação de Portugal*.
- CAMPOS, Ezequiel de, 1933 - *Influência da electrificação na indústria portuguesa*. in “1º Congresso da Indústria Portuguesa”, Lisboa.
- CAMPOS, Ezequiel de, 1949 – *A industria da Electricidade. Sua posição e importância na economia do País*. “Indústria Portuguesa”, Ano XXII, nº 255-256, p. 367-372.
- COMPANHIA FABRIL DO CAVADO, 1893. “Jornal das Finanças”, nº 35.
- COMPANHIA INDUSTRIAL E AGRICOLA PORTUENSE, 1878 - *Parecer da Comissão eleita em assembleia geral de 20 de março de 1877*, Porto.
- COMPANHIA INDUSTRIAL E AGRICOLA PORTUENSE, 1880 - *Relatório do Conselho administrativo*, Porto.
- CORDEIRO, José Manuel Lopes, 1995 - *A utilização de turbinas hidráulicas no início da industrialização portuguesa*. “Revista de Ciências Históricas”, vol. X, p. 245-262.
- CORVO, João de Andrade, 1883 - *Os motores na industria e na agricultura*, Lisboa.
- COSSONS, N. - *The BP Book of Industrial Archeology*, London, 2nd ed.
- CYSNEIROS, João Carlos d’Ornellas, 1889 – *Relatório e Orçamento para uma Fabrica de Fiação e Tecidos de Algodão no rio Alva*, Coimbra.
- Fabrica de Fiação de Algodão em Thomar*, 1865, Lisboa.
- HALSEY, Harlan I., 1981 - *The choice between High-Pressure and Low-Pressure Steam Power in America in the Early Nineteenth Century*. “The Journal of Economic History”, vol. XLI, nº 4, p. 723-744.
- HERLEA, Alexandre, 1985 – *Les moteurs*, Paris.
- MARIANO, Mário, 1993 - *História da Electricidade*, Lisboa.
- MATA, Eugénia; VALÉRIO, Nuno, 1993 – *História Económica de Portugal. Uma perspectiva global*, Lisboa.
- MINAMI, Ryoshin, 1977 – *Mechanical Power in the Industrialization of Japan*. “The Journal of Economic History”, vol. XXXVIII, p. 935-958.
- MUSSON, A. E.; ROBINSON, E., 1958-9 – *The early growth of Steam Power*. “The Economic History Review”, 2nd series, vol. XI, n.º 1, 2 & 3, p. 418-439.

- NIVEAU, Marcel, 1979 – *Histoire des faits économiques contemporains*, Paris.
- NOGUEIRA, A. R., 1913 - *A Hulha Branca em Portugal. Lagôa Comprida*. “Revista de Obras Publicas e Minas”, vol. XLIV, n.º 521-522, p. 163-169.
- Retrospectos de 1910*, 1911. “Revista de Obras Publicas e Minas”, tomo XLII, n.º 493-94, p. 79-81.
- ROCHA, Manuel Martins da, 1933 - *Força Motriz*. in “1º Congresso da Industria Portuguesa”, Lisboa.
- S. ROMÃO, Villarinho de, 1909 - *Relatório... ano de 1908*. “Boletim do Trabalho Industrial”, Lisboa, n.º 28.
- SANTOS, Maciel Morais, 2000 – *Os capitais metalomecânicos em Portugal. 1840-1920*, Porto.
- SEQUEIRA, José Victor Duro, 1902 – *A moderna construção mecânica*. “Revista de Obras Publicas e Minas”, vol. XXXIII, p. 79-105.
- SIMÕES, J. de Oliveira, 1908 - *A evolução da industria portuguesa* in “Notas sobre Portugal”, vol. 1, Lisboa, p. 374.
- SOUSA, Francisco de Almeida, 1998 – *Subsídios para a História da Electrificação Portuguesa* in “A Industria Portuense em Perspectiva Histórica”, coord. Jorge Fernandes Alves, Porto, p. 141-164.
- SUDRIÁ, Carlos, 1994 – *Un factor determinante: la energia* in “La economia española en el siglo XX. Una perspectiva histórica”, coord. Jordi Nadal, Albert Carreras, Carlos Sudriá, Barcelona.
- TEMIN, Peter, 1966 - *Steam and Waterpower in the early Nineteenth Century*. “The Journal of Economic History”, vol. XXVI, n.º 2, p. 187-205.
- TORRES, José de, 1856 - *Motores hydraulicos. Preferencia que na industria portuguesa se deve dar ao seu emprego*. “Revista Peninsular”, Lisboa, vol. 2, p. 89-94.
- VIEGAS, José dos Santos Salvador, 1926 - *Relatório dos Serviços da 1ª...ano de 1923*. “Boletim do Trabalho Industrial”, Lisboa, n.º 128.
- WORONOFF, Denis, 1998 – *Histoire de l'industrie en France du XVI e siècle à nos jours*, Paris.

