

Engenharia e desenvolvimento no Brasil: desafios e perspectivas

*Jorge Almeida Guimarães
João Fernando Gomes de Oliveira
Alvaro Toubes Prata*

INTRODUÇÃO

A origem de muitos dos problemas sociais no Brasil, como o crime e a violência, está associada ao desemprego. O desemprego é resultado da falta de oportunidades de trabalho que está associada ao desenvolvimento empresarial. Adicionalmente, o desempenho do setor empresarial em países emergentes, de forma geral, evidencia-se pelo sucesso de suas empresas, que são hoje classificadas de acordo com sua competitividade. Tal competitividade tem sido revelada de forma rápida pelo processo de globalização. Portanto, a competitividade empresarial, que garante a sobrevivência das empresas, é um fator crítico para o equilíbrio de uma sociedade.

Há um outro componente do desemprego que hoje assola até mesmo os países desenvolvidos. O mundo vive a economia do conhecimento, onde os insumos principais da produção deixam de ser os bens físicos em favor do trabalho intelectual. Assim, o trabalho de criação de novos produtos e novas tecnologias passa a ter valor crescente no mundo contemporâneo. Portanto, o desafio atual, mesmo para os países desenvolvidos, é dominar a tecnologia de ponta nos setores industriais, gerando uma grande quantidade de empregos de maior nível intelectual. Via de regra esses empregos trazem maiores benefícios sociais, tanto pela oportunidade de criação de novos negócios como pela maior riqueza gerada e, sobretudo, pela inserção dos jovens em processos demandantes da inovação criadora.

O desenvolvimento recente nos países emergentes acoplado à globalização tem sido chamado por alguns autores de revolução industrial

global. A figura 1, apresentada por M. Tseng, na reunião anual da Academia Internacional de Engenharia de Produção (CIRP), mostra a distribuição da produção mundial desde a revolução industrial até a revolução industrial global. Observa-se uma nova tendência de distribuição a partir de 1950. O Brasil começa a aparecer nessas análises e necessita consolidar-se como um verdadeiro ator do mercado mundial. Tal consolidação depende de recursos humanos bem formados, principalmente na área de engenharia.

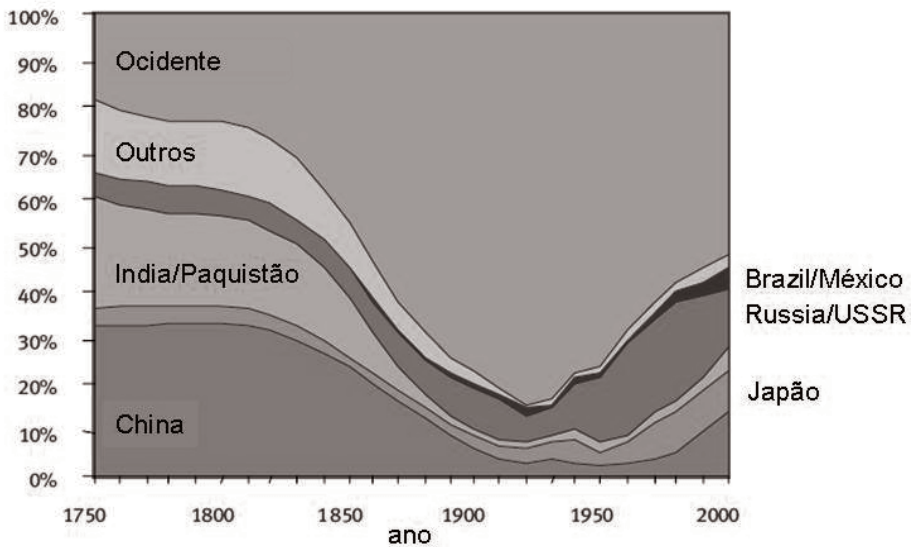


Figura 1. Distribuição da produção mundial desde a primeira revolução industrial (Tseng, 2003)

O avanço industrial que acontece no Brasil em relação à indústria de manufatura, e às necessidades das indústrias de equipamentos (agrícolas, automobilísticos, eletrônicos, etc.) coloca o país em uma posição crítica de desenvolvimento industrial, onde se manifesta a necessidade crescente de uma maior participação e desempenho das pequenas e médias empresas.

Com o Plano Real em 1994, o Brasil teve sua moeda fortalecida por um período de quatro anos. Nesse período, a relação cambial quase unitária entre o dólar e o real criou um atrativo para o investimento em indústrias no Brasil. A partir de 1994 o investimento brasileiro anual em linhas de montagem de automóveis, por exemplo, chegou a atingir

patamares da ordem de dois bilhões e quinhentos milhões de dólares por ano, cerca de cinco vezes maior do que os valores anteriormente praticados. A maioria dessas empresas apostou em um modelo de negócios baseado na montagem de peças importadas para fornecimento no mercado interno. Assim, a lucratividade era alta tanto devido ao elevado valor dos automóveis no Brasil em relação ao exterior como devido à relação cambial. Entretanto, a partir de 1999 nossa moeda desvalorizou-se, tornando tal modelo de negócios quase inviável. A grande capacidade ociosa das montadoras de automóveis, por exemplo, gera hoje a demanda de fornecedores e cria uma importante oportunidade de desenvolvimento para a indústria nacional, pois o bom desempenho destes fornecedores pode promovê-los para atender o mercado mundial. Assim como no exemplo apresentado para a indústria automobilística, outros setores tiveram sua infra-estrutura ampliada no Brasil. Entretanto, de uma maneira geral esses setores carecem de resposta dos sistemas de produção de componentes para poder aumentar suas taxas de utilização e desempenho.

Paralelamente, a carência de conhecimentos científico-tecnológicos é freqüentemente constatada, particularmente, em pequenas e médias empresas. Este cenário tem, conseqüentemente, determinado o desenvolvimento lento destas empresas, afetando, sobremaneira, a pauta de exportações. Sabidamente, empresas empenhadas na pesquisa e na inovação, aprimoram seus processos produtivos e têm maiores chances de obter sucesso.

As inovações tecnológicas, o desenvolvimento da infra-estrutura nacional, o surgimento e o estabelecimento das indústrias e empresas de pequeno e médio porte, demandam, no conjunto, contingentes de engenheiros bem qualificados. Serão eles os projetistas, gerentes técnicos e operadores, constituindo a maior parcela do “corpo inteligente” do segmento industrial. Demonstração clara disso é o avanço verificado nas últimas décadas por diversos países, antes tecnologicamente emergentes, como Índia, Espanha, China, Coréia do Sul, Taiwan e Cingapura. Vale lembrar que são todos atuais concorrentes diretos do Brasil e contra os quais temos grande desvantagem na pauta de exportações de manufaturados (ver exemplo da Coréia do Sul na Tabela 1). Como se verá adiante, a força maior desses países foi e tem sido a ênfase nos processos industriais demandantes de quadros qualificados das engenharias.

Tabela 1. Resultado da diferença exportação-importação. Comparação entre Brasil e Coréia do Sul

País	Produto e Serviço	2000	2001	2002	2003	2004
Brasil	Produtos Agrícolas	10.305	14.201	15.025	19.688	26.407
	Combustíveis e produtos de minas	-4.186	-3.039	-724	377	-1.784
	Manufaturados	-11.208	-12.996	-5.261	550	4.555
	Serviços Comerciais (Excluindo serviços governamentais)	-6.613	-7.107	-4.706	-4.780	-4.497
Coréia do Sul	Produtos Agrícolas	-8.539	-8.556	-9.619	-10.097	-11.052
	Combustíveis e produtos de minas	-35.407	-32.236	-32.981	-39.796	-50.554
	Manufaturados	56.743	50.822	52.946	65.175	91.920
	Serviços Comerciais (Excluindo serviços governamentais)	-3.211	-4.370	-8.787	-8.175	-9.595

Fonte: Organização Mundial do Comércio (2005). Disponível em <http://stat.wto.org>

Verifica-se, portanto, que a engenharia é um poderoso instrumento para promover o desenvolvimento econômico e social de uma Nação. No caso do Brasil, que possui inúmeras vantagens comparativas e imensas riquezas naturais, verifica-se que no estágio atual do seu desenvolvimento há grande necessidade de um corpo de engenheiros bem formados e com competência consolidada. Deve-se, pois, que se fomentar uma expressiva formação de recursos humanos nas diversas áreas das engenharias, capacitando o País para explorar seus diversos nichos de competitividade.

Neste sentido, vale lembrar que há no Brasil diversos bons exemplos de iniciativas e casos de sucesso. Pode-se mencionar alguns, em relação à engenharia brasileira, como o desenvolvimento de tecnologia de extração de petróleo em águas profundas com intensa participação da Coppe-Rio, a indústria aeronáutica acoplada ao complexo CTA/ITA, o apoio amplo ao desenvolvimento das engenharias com o programa Reeng/Recope e os extraordinários avanços na automação bancária e na apuração eletrônica dos resultados das eleições, todos suportados pela Engenharia.

Nesse contexto, a concepção de uma estratégia para o desenvolvimento da produção interna de componentes, com base nas indústrias de extração e nas usinas produtoras de matérias primas, assume grande importância para que o País responda rapidamente às oportunidades de exportação de produtos com maior valor agregado.

Tal desenvolvimento está intimamente relacionado à disponibilidade de engenheiros bem formados no país.

Um aspecto positivo desse desafio diz respeito ao segmento científico. Neste sentido, constata-se que o Brasil alcançou, nas duas últimas décadas, extraordinário desempenho, ocupando hoje, destacada posição (17^a) no cenário mundial, ultrapassando países com muito maior tradição na pesquisa e formação de recursos humanos, como Bélgica, Israel, Noruega, Áustria, Dinamarca, Finlândia e muitos outros. Em marcha para avançar em três anos mais duas posições no ranking mundial, o Brasil se situará assim, entre os 15 países com maior capacidade de produção de conhecimentos novos no mundo, uma situação de maior similaridade com sua posição no ranking mundial do PIB, à semelhança, também, da correlação observada para os países mais desenvolvidos na comparação PIB *versus* produção científica. A esse extraordinário desempenho da ciência brasileira deve ser acrescentada ‘a curiosa constatação de que o investimento em C&T&I no Brasil em relação ao PIB, é de três a cinco vezes menor do que o de qualquer dos países situados à nossa frente.

Estes significativos resultados decorrem, na verdade, da circunstância de que nosso destacado desenvolvimento científico ocorre nas universidades brasileiras, especialmente nos cursos de pós-graduação os quais produzem milhares de dissertações e teses por ano (em 2006 foram cerca de 35 mil dissertações e 10 mil teses), que de fato subsidiam nossa produção científica reconhecida internacionalmente. Não obstante, o Brasil ter alcançado tal resultado científico, no que se refere ao registro de patentes depositadas no exterior em período equivalente, e que poderiam tornar-se tecnologia industrial aplicada, o seu desempenho é ainda sofrível como mostra a Figura 2, que apresenta uma comparação entre Brasil e Coréia do Sul no que se refere ao número de patentes depositadas no USTPO (United States Trade and Patent Office) e também aos recursos despendidos pelas empresas em pesquisa e desenvolvimento, nas décadas de 80 e 90. Observa-se que há uma nítida correlação entre os recursos aplicados em pesquisa e desenvolvimento pelas empresas e o volume de patentes registradas. Observa-se também que no início dos anos oitenta Brasil e Coréia possuíam os mesmos números, mas nos anos subseqüentes houve um crescimento vertiginoso tanto nos recursos alocados à pesquisa como nas patentes depositadas por parte da Coréia do Sul.

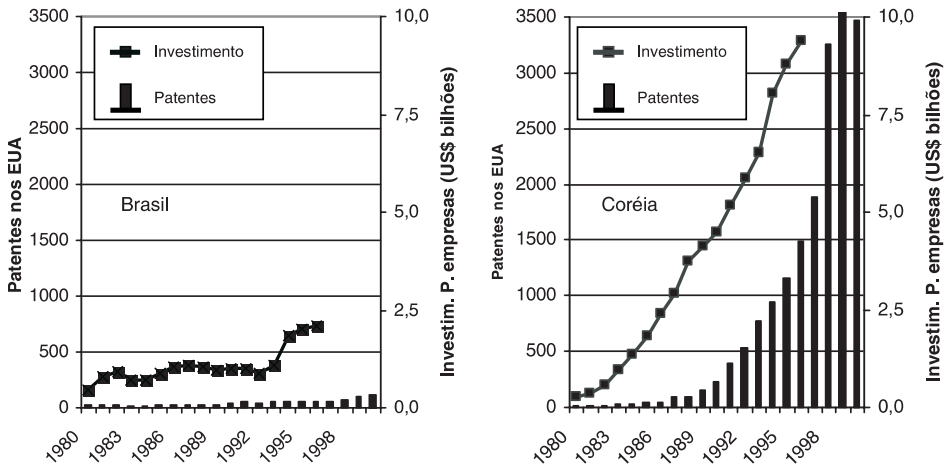


Figura 2. Patentes depositadas nos EUA e investimento das empresas em P&D para o Brasil e a Coréia.

(C. H. Brito Cruz, palestra 3ª CNCTI 2005, www.cgee.org.br/cncti3/)

Por diversas razões, entre as quais a pouca idade do nosso sistema universitário e, em consequência do sistema de C&T, a interação entre universidade e empresa demorou e ainda se desenvolve a passos lentos no Brasil. Assim sendo, e até mesmo por falta de uma efetiva demanda industrial, a comunidade universitária tem orientado as pesquisas com ênfase na produção acadêmica, portanto, numa direção desalinhada da que deveria ser a realidade como aquela experimentada pela comunidade industrial nos países desenvolvidos. Talvez pelas mesmas razões, constata-se também uma baixa interação entre os grupos e centros de pesquisa na colaboração e compartilhamento em rede dos conhecimentos gerados, objetivando a sua aplicação em empresas. Adicionalmente, a tecnologia industrial básica (TIB) aqui desenvolvida não resulta, muitas vezes, em ganhos de produtividade devido à referida distância existente entre os objetivos das empresas e os dos centros de pesquisas. Por fim, como se verá adiante, as empresas nacionais investem pouco em pesquisa e desenvolvimento e o número de cientistas e pesquisadores que atuam em atividades fins nas empresas nacionais é ainda muito pequeno comparado com o que se verifica em países que possuem um processo mais acelerado de desenvolvimento tecnológico (Figura 3).

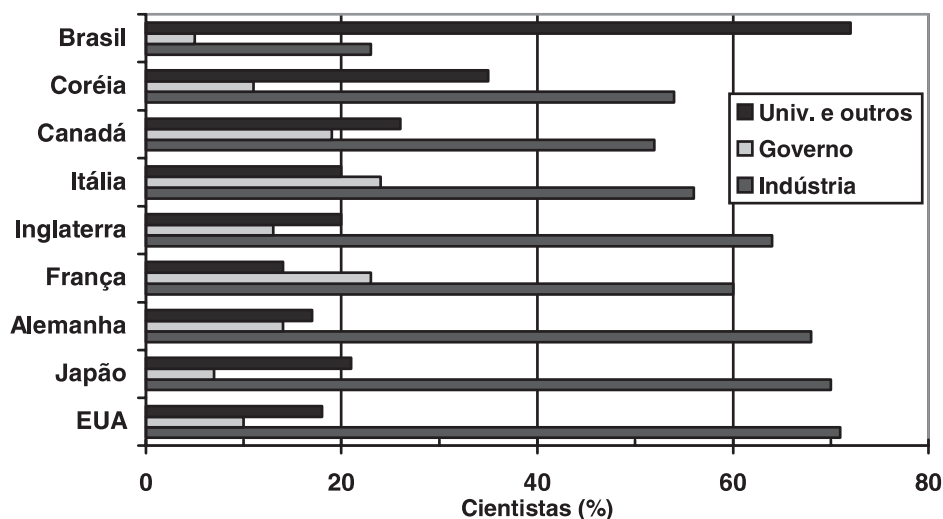


Figura 3. Setor onde atuam os pesquisadores em diversos países.
(C. H. Brito Cruz, palestra 3ª CNCTI 2005, www.cgee.org.br/cncti3/)

Apesar desse complexo caldo cultural, a produção de patentes vem aumentando no Brasil desde 1999 (Tabela 2), tendo atingido, todavia, uma inadequada distorção em que a fração de patentes registradas pelas universidades brasileiras (26% em 2003) é cerca de dez vezes superior à contribuição acadêmica nas patentes nos países mais desenvolvidos. Em face disso, verifica-se que entre as 20 maiores instituições depositárias de patentes no Brasil, cinco são universidades, sendo o primeiro lugar ocupado pela UNICAMP, à frente de todo o setor industrial. Neste sentido vale mencionar o excelente estudo de Narim et al. (1997) que mostra que, a partir da década passada, nos países tecnologicamente mais competitivos (EUA, Japão, Alemanha, Inglaterra, Canadá e outros), as patentes registradas são largamente referendadas pelo conhecimento científico gerado no próprio país. Noutras palavras, esses países raramente se apropriam do conhecimento científico produzido no caldo cultural de outros países, muito menos de seus competidores. No caso dos EUA, 73% das patentes industriais são fundamentadas cientificamente pelo conteúdo teórico e técnico obtido das publicações científicas produzidas pelo setor acadêmico a partir das pesquisas financiadas com recursos públicos das agências de fomento americanas (Narim et al., 1997). No caso do Brasil, utilizando um enfoque comparativo, Meis et

al. (2007) mostram que há uma estreita e positiva correlação entre a produção científica e o número de patentes. Os dados indicam claramente que o número de patentes registradas tanto no Brasil como nos EUA cresceram e crescem paralelamente ao aumento da produção científica e à titulação de mestres e doutores oriundos dos cursos de pós-graduação. Assim, tendo o Brasil um sistema de C&T tão recente (últimas quatro décadas) e ao mesmo tempo com tão elevado desempenho científico, resta agora provocar o estímulo à transformação do conhecimento acumulado (C&T) em atividade produtiva (P&D&I), uma aberta convocação ao espírito inerentemente inovador que deve marcar um segmento industrial moderno e competitivo.

Tabela 2. Vinte maiores instituições-residentes depositários de patentes no Brasil 1999-2003

Depositante	1999	2000	2001	2002	2003	Total
Unicamp	17	39	22	60	53	191
Petróleo Brasileiro S. A. - PETROBRAS	30	25	30	43	49	177
Arno S. A.	26	37	14	28	43	148
Multibras Eletrodomésticos S. A.	12	12	27	28	31	110
Semeato S. A. Ind. e Com.	14	13	16	16	41	100
Vale de Rio Doce CO	16	6	15	27	25	89
FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa S. Paulo	1	1	10	36	35	83
Brasil Compressores S. A.	14	13	29	9	16	81
Dana Ind Ltda	1	20	23	21	6	71
Univ. Fed. Minas Gerais	2	9	17	23	15	66
Johnson & Sohnsen Ind. Com. Ltda	12	16	11	12	5	56
Univ. de São Paulo	7	7	8	13	20	55
Jacto Máquinas Agrícolas	15	23	4	7	5	54
Minas Gerais Siderurgia - USIMINAS	7	14	11	6	10	48
Electrolux do Brasil S. A.	19	6	8	9	3	45
Embrapa	9	9	10	11	3	42
Conselho Nec. de Desnv - CNPq	6	8	3	10	15	42
Univ Fed do Rio de Janeiro - UFRJ	2	4	2	17	13	38
Eniv. Est. Paulista Julio de Mesquita Filho	3	2	3	13	13	34
Dixie Togas S. A.	0	4	9	16	2	31

Fonte: INPI, patentes no Brasil, Banco de Dados EPOQUE.

Em virtude do exposto, o esforço para aumentar a competitividade das empresas Brasileiras deve ser pensado de forma diferenciada. Ele implica no aproveitamento máximo da capacidade de P&D&I instalada

nas universidades brasileiras. Deve considerar a busca pelo domínio de tecnologias inovadoras e a criação de um ambiente empresarial evoluído composto por grandes empresas de manufatura rodeadas por pequenas empresas de alta tecnologia, capazes de criar novos produtos e vender serviços de altíssimo valor agregado. A relação saudável com as instituições acadêmicas deve incluir o oferecimento de educação de qualidade aos profissionais requeridos pelos empreendimentos e também incubar novas tecnologias de ponta.

Certamente as Engenharias exercem um papel fundamental nesse contexto. Sua consolidação e estruturação deve obedecer a princípios que potencializem o desenvolvimento empresarial. Tais princípios incluem grande integração com o setor empresarial e uma distribuição consistente entre suas áreas de atuação. Este artigo discute alguns dos elementos principais para o desenvolvimento das Engenharias no Brasil objetivando estimular a proposição de uma estratégia de desenvolvimento da comunidade empresarial.

A PESQUISA E O DESENVOLVIMENTO EM EMPRESAS NO BRASIL

É sabido que o Brasil realiza pouca pesquisa e desenvolvimento no setor industrial, quando comparado com o que se verifica em outros países mais desenvolvidos. O entendimento de grande parte dos empresários sobre o que é P&D ainda é muito vinculado a uma dependência tecnológica estrangeira. Um levantamento realizado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) mostra que nas empresas nacionais P&D&I corresponde ao treinamento de pessoas, despesas com produtos, e aquisição de máquinas. Destaque-se que o conceito de recursos humanos que orientou as respostas dos empresários no levantamento da CNI está restrito ao treinamento de operadores de máquinas e pessoal de venda e, portanto muito aquém do que se propõe neste artigo.

Os pesquisadores que atuam no Brasil em atividades fins ligadas à pesquisa e desenvolvimento, majoritariamente estão nas universidades, conforme já ilustrado na Figura 3. Este cenário contrasta com o que se observa em outros países onde a maioria dos pesquisadores concentram-se nas indústrias. Em termos absolutos, o número de cientistas e engenheiros atuando nas universidades brasileiras é superior ao da Coréia,

e o que nos falta é uma política que favoreça a colaboração entre universidade e empresas e a fixação de pesquisadores no setor industrial.

Duas necessidades básicas podem ser identificadas no setor de recursos humanos qualificados para a pesquisa e o desenvolvimento. A primeira é a formação de competências para atuar em centros de P&D&I nas indústrias, e a segunda é a formação de profissionais aptos para operar no sistema empresarial em crescimento. Para a primeira demanda, uma maior integração entre empresas e universidades é requerida, e a mola-mestra é o desenvolvimento de projetos integrados que atendam aos interesses de ambos os setores. A colaboração com o setor empresarial faz com que os setores acadêmicos entendam as demandas empresariais de geração de conhecimento. Assim, tal colaboração é muito importante e deve ser buscada pelas instituições de pesquisa em Engenharia. Para a segunda necessidade, é necessário que haja uma distribuição equilibrada de capacidade das diversas áreas da engenharia nacional. Tal aspecto é discutido a seguir.

DEMANDAS PARA O SISTEMA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ENGENHARIA

A pesquisa e a pós-graduação têm sido fomentadas de uma forma unívoca e monolítica no Brasil. Para que se tenha agora um salto em qualidade e quantidade em engenharia é preciso entender o papel de cada uma de suas sub-áreas, contemplando as características e peculiaridades de cada setor. Em engenharia, dois aspectos necessitam ser abordados: a) adoção de um modelo de gestão de pesquisa que acompanhe e realmente as demandas empresariais da engenharia nacional, e b) garantia de equilíbrio entre as diversas áreas da engenharia para que o desenvolvimento de uma dê suporte ao das outras.

Um exemplo de modelo de gestão que aproxima a academia do setor industrial é apresentado na figura 4. Observa-se na parte inferior da figura os elementos básicos para que uma empresa tenha competitividade: estratégia, desenvolvimento de produto, logística e gestão da produção, e tecnologia de fabricação. Todos estes elementos devem ser apoiados por sistemas e ferramentas informatizadas. Na parte superior da figura são apresentadas as áreas de pesquisa e pós-graduação que devem ser desenvolvidas no meio acadêmico para dar suporte e sustentação ao setor empresarial. Tal desenvolvimento deve ocorrer tendo como base

as demandas empresariais. Por sua vez, as respectivas áreas de pesquisa e pós-graduação precisam ainda estar integradas entre si e realimentadas pelo segmento industrial. As áreas listadas contemplam demandas de empresas que atuam em diferentes segmentos e podem variar dependendo do tipo de empresa e do segmento de mercado.

O segundo aspecto a ser considerado no fomento à pesquisa e pós-graduação em engenharia é o equilíbrio que deve existir entre as áreas. Por exemplo, a indústria mecânica depende da eletrônica para o desenvolvimento dos seus sistemas de controle e monitoramento e, desta forma, não é possível ter uma indústria mecânica forte e competitiva sem uma boa engenharia elétrica. Tal distribuição na quantidade de recursos humanos e de pesquisa nas diferentes áreas da engenharia pode ser estabelecida a partir de uma referência mundial. Essa distribuição será apresentada e discutida mais a frente.

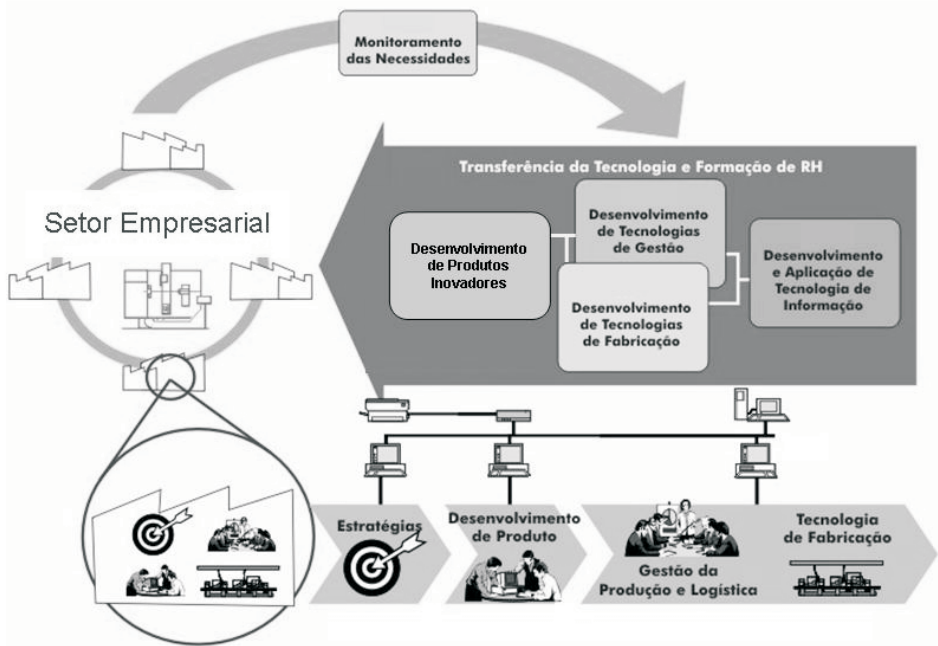


Figura 4. Modelo para apoiar o setor empresarial no Brasil (ref. IFM, proposta MCT)

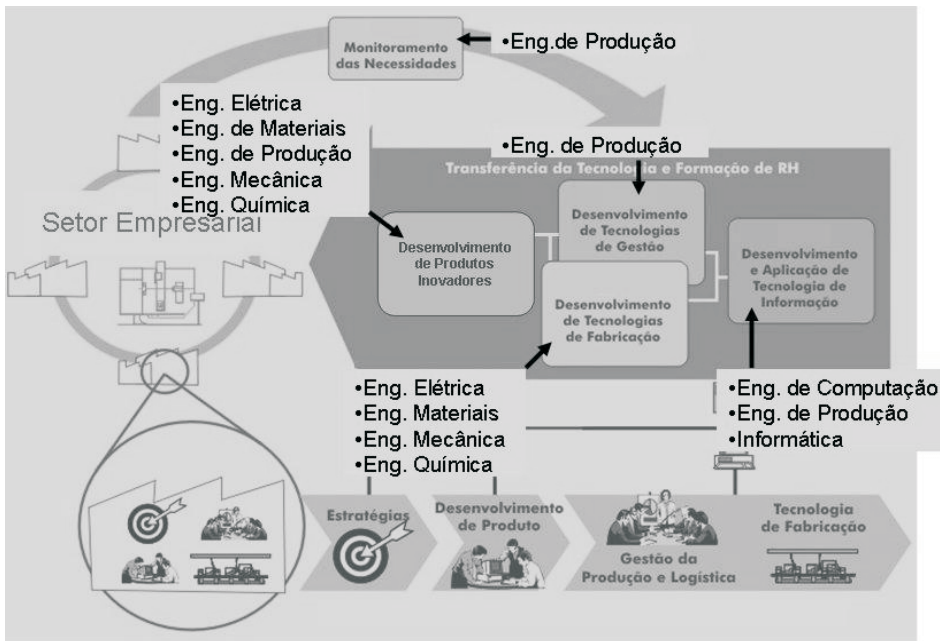


Figura 5. Participação de engenheiros pesquisadores no modelo da Figura 4

O Brasil precisa observar este padrão para planejar sua estratégia de desenvolvimento das engenharias. A figura 5 mostra o modelo da figura 4 com uma expectativa de participação de engenheiros, no caso específico da indústria de manufatura. Ressalta-se a grande demanda de atividades de planejamento de alto nível que deve ser desenvolvida por engenheiros de produção em diversos segmentos. O papel de tais profissionais necessita ser considerado de forma aprofundada visando oferecer aos estudantes melhor compreensão da importância e aprendizado sobre o uso de ferramentas modernas essenciais para o sucesso no desenvolvimento empresarial.

CRESCIMENTO ECONÔMICO E DESENVOLVIMENTO DAS ENGENHARIAS NO BRASIL E NO MUNDO

Poucos países detêm a produção científica mundial em engenharia em revistas indexadas. Aproximadamente 90% do que se publica no mundo em engenharia se deve a dez países: Estados Unidos, Japão, China, Inglaterra, Alemanha, França, Itália, Coreia do Sul, Canadá e Índia. Estes são também líderes na produção tecnológica mundial. Vale destacar nesse

grupo líder a presença da China, Canadá, Coreia do Sul e Índia, competidores diretos do Brasil em vários setores comerciais. Isto comprova, claramente, que a produção tecnológica tem, em todos estes países, uma forte associação com a produção científica, confirmando as observações de Narim, et al., 1997. A produção científica das engenharias brasileiras coloca o País na 16ª posição, respondendo por 1,4% da produção mundial (8776 artigos no quinquênio 2001-2005). A figura 6 apresenta em forma gráfica a participação mundial em engenharia dos principais países. Um aspecto a ser notado é que o Brasil é o único país da América Latina a estar entre os mais produtivos em engenharia. Ademais, nosso desempenho científico nas áreas das engenharias é apenas 4-5 vezes menor do que França, Inglaterra e Alemanha.

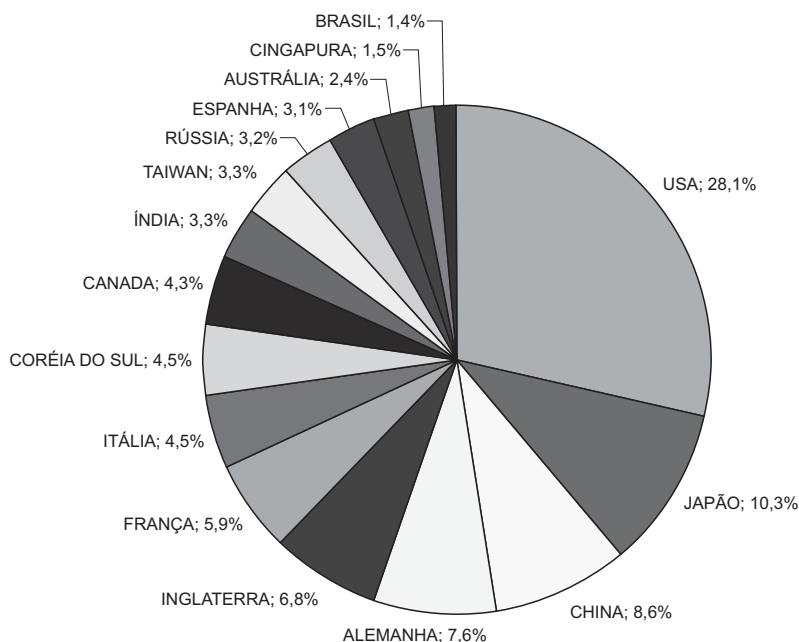


Figura 6. Participação mundial de cada país na publicação qualificada em engenharia (2001 a 2005) (fonte: ISI Web of Knowledge – Thomson Scientific¹)

¹ Metodologia: Neste trabalho utilizou-se como fonte de dados para a produção científica dos países e das áreas das engenharias, os dados do Institute for Scientific Information (ISI), atualmente Thomson's National Indicators. Duas bases foram utilizadas: a Standard Data Base com 24 áreas e a Deluxe Data Base que expande a base Standard para 105 áreas do conhecimento. Essas bases são disponibilizadas no produto Science Indicators 2005 in CD-Rom. As diversas áreas das engenharias e de computação foram classificadas como indicado na base Deluxe Data Base.

Há ainda uma correlação direta entre a produção em engenharia e os indicadores econômicos de cada país, conforme ilustra a tabela 3. A análise da tabela 3 reforça as teses apresentadas no presente artigo que indicam a importância da engenharia para o desenvolvimento econômico do país. Observa-se inicialmente que as quinze maiores economias do mundo são as que mais publicam em engenharia. A única exceção é o México que embora possua o 12º PIB não possui uma produção destacada em engenharia. Um outro aspecto muito interessante é a relação entre a produção em engenharia e o PIB dos países asiáticos emergentes como Coreia do Sul, Taiwan e Cingapura. A classificação destes países como produtores de conhecimento em engenharia é melhor do que seus respectivos PIB's, com destaque para Cingapura que é o 15º país mais produtivo e com o 41º PIB do mundo. A preocupação com a engenharia nestes países explica e antecipa seus crescimentos econômicos. A percentagem de titulados em engenharia em relação ao total de titulados em educação superior é 24, 27, e 30%, respectivamente, para Taiwan, Coreia do Sul e Cingapura (fonte: NSF – Science and Engineering Indicators, 2006). Este número deve ser comparado com os 6,4% verificados para o Brasil.

Adicionalmente, quando se analisam as produções industriais e de produtos manufaturados dos países, quarta e quinta colunas na tabela 3, respectivamente, a correlação com a produção científica em engenharia se torna ainda mais forte. Novamente o México é a única exceção entre os países com destaque no PIB e que não está entre os que mais publicam em engenharia; sua classificação na produção industrial é 14 e na produção de produtos manufaturados é 12. Convém observar que a Holanda poderia também ser considerada uma exceção posto que seu PIB é o 16º do mundo (da mesma forma que sua produção industrial e de manufaturados) e sua produção em engenharia não está entre as dezesseis maiores do mundo. Outro aspecto a ser destacado na tabela 3 é que 46% do PIB chinês advém de sua produção industrial, sendo o maior percentual verificado entre os países analisados. Observe-se também que 38% dos diplomados em educação superior na China são engenheiros.

A última coluna da tabela 3 apresenta o consumo de energia elétrica dos países. Observe-se que dos 16 países que mais consomem energia elétrica, 15 são os que mais produzem artigos em engenharia.

Por fim, em relação à tabela 3, pode-se observar que os pequenos países asiáticos (Coreia do Sul, Taiwan e Cingapura) possuem uma posição em relação à produção qualificada em engenharia melhor do que em relação aos seus indicadores econômicos, enquanto que somente a Espanha (México e Holanda, não foram incluídos na tabela, mas cujos índices foram mencionados no texto), possui uma produção qualificada em engenharia em posição inferior à referente aos seus indicadores econômicos.

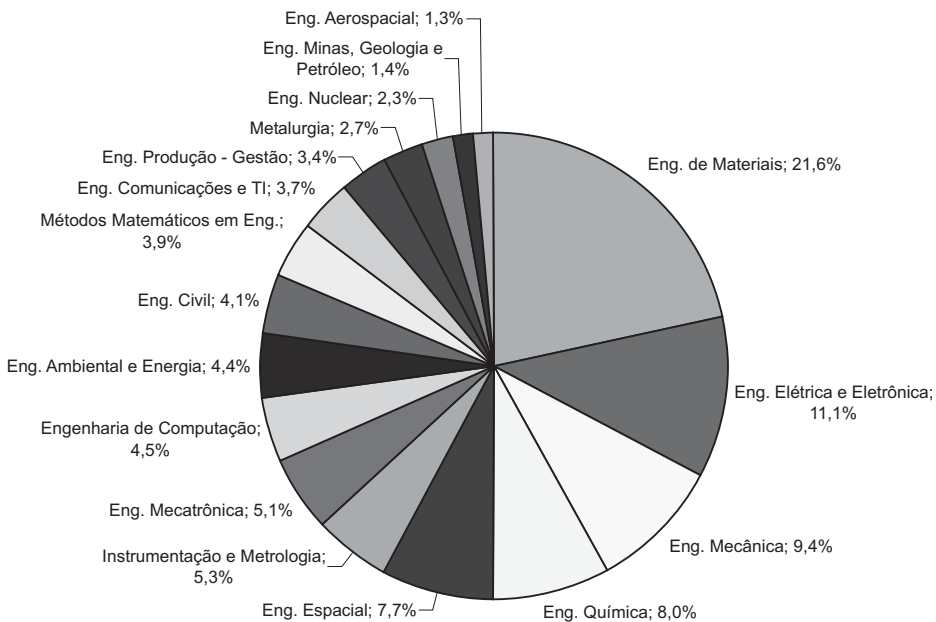
Tabela 3. Produção percentual em engenharia dos 16 países mais produtivos e seus indicadores econômicos (entre parêntesis a classificação mundial do país para o indicador).

	Prod. Eng. ¹ (2001-2005) (%)	PIB (bn US\$) ²	Prod. Ind. (bn US\$) ²	Prod. Manf. (bn US\$) ²	Consum. Ener. Elet. (TWh) ³
USA	28,1 (1)	11.712 (1)	2.271 (1)	1.523 (1)	3.656 (1)
Japão	10,3 (2)	4.623 (2)	1.308 (2)	894 (2)	946 (3)
China	8,6 (3)	1.932 (6)	893 (3)	889 (3)	2.170 (2)
Reino Unido	7,8 (4)	2.124 (4)	496 (5)	319 (5)	346 (10)
Alemanha	7,6 (5)	2.741 (3)	721 (4)	495 (4)	510 (7)
França	5,9 (6)	2.047 (5)	399 (7)	255 (7)	433 (8)
Itália	4,5 (7)	1.678 (7)	417 (6)	295 (6)	302 (12)
Coreia do Sul	4,5 (8)	680 (11)	247 (10)	174 (9)	321 (11)
Canadá	4,3 (9)	978 (9)	285 (8)	177 (8)	521 (5)
Índia	3,3 (10)	691 (10)	171 (13)	101 (13)	519 (6)
Taiwan	3,3 (11)	305 (20)	90 (19)	78 (14)	206 (15)
Rússia	3,2 (12)	581 (15)	182 (12)	138 (11)	812 (4)
Espanha	3,1 (13)	1.040 (8)	274 (9)	153 (10)	231 (13)
Austrália	2,4 (14)	637 (13)	124 (17)	57 (17)	221 (14)
Cingapura	1,5 (15)	107 (41)	35 (43)	29 (31)	33 (55)
Brasil	1,4(16)	604 (14)	211 (11)	57 (17)	360 (9)

¹ISI Web of Knowledge – Thomson Scientific; ²<http://www.economist.com>; ³<http://www.nationmaster.com>.

A seguir é explorada a distribuição das publicações em engenharia no mundo e no Brasil por área de conhecimento. Como se verifica nas figuras 7 e 8, as seis maiores áreas (materiais, elétrica, mecânica, química, espacial e instrumentação) correspondem aos ramos das engenharias com a maior produção científica no mundo (63%) e também no Brasil (70%), sendo que as três primeiras apresentam, somadas, a mesma proporção

(42%) nos dois rankings. Destaque-se, todavia, que no Brasil, diferentemente do mundo, as Engenharias Elétrica e Mecânica ocupam a quarta e quinta posições respectivamente e que o percentual mais elevado do Brasil nas seis áreas é devido basicamente ao desempenho relativo mais acentuado nas áreas de materiais, química e ciências espaciais, que juntas detêm 46% da produção versus 37% do desempenho relativo das três áreas no mundo (figuras 7 e 8). Tais números confirmam informações que já estão disponíveis por outros indicadores, ou seja, que apesar da área de materiais ser aquela onde mais publicamos, industrialmente somos ainda fracos neste segmento. Ressalte-se, todavia, que o potencial de uso aplicado desses conhecimentos, majoritariamente gerados por grupos de pesquisa brasileiros altamente qualificados, requer, tão somente, maior envolvimento e mobilização do segmento industrial para interação com o setor acadêmico.

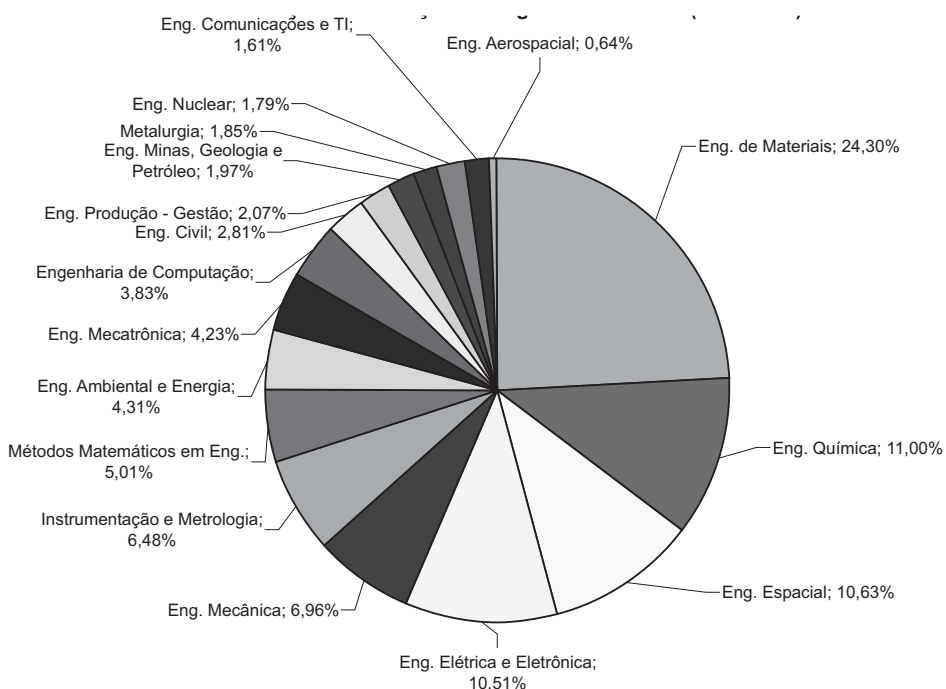


Fonte: ISI Web of Knowledge – Thomson Scientific.

Figura 7. Distribuição mundial por área das publicações qualificadas em engenharia (2001 a 2005)

Por outro lado, o bom desempenho da engenharia espacial brasileira justifica o sucesso tecnológico que o país vem alcançando na

indústria aeroespacial. Já os dados científicos alcançados pela engenharia mecânica e pela eletro-eletrônica indicam que ambas as áreas estão aquém das demandas nacionais para suporte ao desenvolvimento industrial. Por outro lado, a engenharia de petróleo e a de minas são reativamente mais fortes no país em relação às demais áreas da engenharia e apresentam uma produção expressiva comparada ao que se pratica no mundo. Em termos de publicações a engenharia química brasileira está muito bem colocada, enquanto que a engenharia civil está mais defasada quando comparadas com os percentuais que se pratica em termos mundiais.



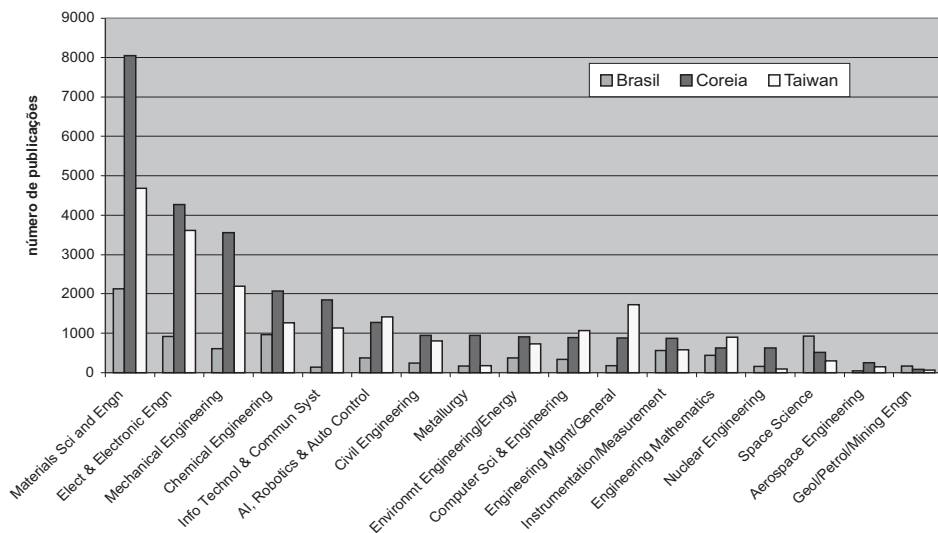
Fonte: ISI Web of Knowledge – Thomson Scientific.

Figura 8. Distribuição brasileira por área das publicações qualificadas em engenharia (2001 a 1005)

Destacou-se acima, com base na Tabela 3, a importância da engenharia nos pequenos países asiáticos. Neste contexto é interessante comparar a produção brasileira nas diversas áreas da engenharia com a produção das mesmas áreas na Coreia e Taiwan. Estas informações estão apresentadas na figura 9. Como visto acima, a fração mundial da produção

científica brasileira em engenharia (1,4%) é consideravelmente menor do que a da Coréia do Sul (4,5%) e de Taiwan (3,3%). Verifica-se, na figura 9, que tal situação ocorre em quase todas (15 em 17) áreas, tanto em relação à Coréia quanto a Taiwan. A exemplo do Brasil, a área mais produtiva das engenharias na Coréia e Taiwan é também a área de materiais, mas as diferenças são de pelo menos quatro e duas vezes em favor da Coréia e de Taiwan, respectivamente. Também em engenharia elétrica e eletrônica e em engenharia mecânica a Coréia produz mais de quatro vezes o que o Brasil produz.

Os perfis de participação na produção de conhecimentos científicos novos das áreas de engenharia e computação na Coréia e Taiwan são próprios de países com altas taxas de desenvolvimento industrial onde a indústria de transformação e a alta tecnologia demandam uma engenharia avançada. Essa assertiva parece também válida para a situação brasileira, pois em engenharia de minas e petróleo, e em ciências espaciais o Brasil está na frente da Coréia e de Taiwan. A indústria espacial brasileira é mais avançada do que nestes dois países e nossas qualificações industriais na área de petróleo e siderurgia também não possuem competidores na Coréia e Taiwan.



Fonte: ISI Web of Knowledge – Thomson Scientific.

Figura 9. Comparação da produção qualificadas nas diversas áreas da engenharia e computação entre Brasil, Coréia do Sul e Taiwan (2001 a 2005)

DESAFIOS E PERSPECTIVAS

A partir da análise apresentada, pode-se perceber que o desenvolvimento da Engenharia é um importante requisito para dar suporte ao sucesso empresarial e econômico no Brasil.

Há claramente a necessidade de se aumentar a proporção de doutores e titulados em engenharias com o objetivo de se ter uma maior quantidade de profissionais habilitados a operar o sistema empresarial e científico em engenharia. Destaca-se a demanda por profissionais aptos a realizar tarefas de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PDI) na indústria, fortalecendo esse elo fraco do sistema empresarial brasileiro. O aumento na formação de doutores em engenharia e computação já está prevista no Plano Nacional de Pós Graduação (PNPG) 2005-2010 [tabela 20] como a maior taxa de crescimento planejada para pós graduação. O valor estabelecido naquele documento foi de um crescimento de 136% no doutorado e 98% no mestrado. O objetivo geral é duplicar a fração de formação de mestres e doutores em engenharias e computação que atualmente é de apenas 13% do total de titulados.

Um outro desafio que claramente se apresenta é o aumento da formalização dos conhecimentos gerados no país em engenharia através de publicações de qualidade.

O fortalecimento de algumas das áreas de engenharia, que são imprescindíveis para uma estratégia brasileira de desenvolvimento também deve ser planejado. O fortalecimento na área de Engenharia Mecânica, por exemplo, é uma necessidade para dar suporte à nossa indústria. Nota-se que a Engenharia Mecânica corresponde a 7% de nossa produção bibliográfica, enquanto que essa fração no mundo está próxima a 10% de toda a engenharia. Esse tipo de análise, apesar de simplificada, representa um caminho para a busca de um equilíbrio entre as áreas de engenharia que se inter-relacionam. A análise dos papéis dos engenheiros nas empresas e na pesquisa, deve ser também um outro guia para o estabelecimento de prioridades de desenvolvimento do setor. A ênfase deve ser na integração entre as sub-áreas das engenharias, e nesse contexto destaca-se a necessidade de integração entre a Engenharia de Produção e as outras modalidades.

O domínio de tecnologias habilitadoras de inovação como, por exemplo, a nanotecnologia, mecatrônica e materiais inovadores tem provocado uma transformação quase sem limites no desenvolvimento de novos produtos ou na adição de funcionalidades em produtos existentes. O domínio de tais tecnologias no âmbito das Engenharias deve ser uma das prioridades na criação de novas áreas de concentração.

Um outro desafio é a consolidação do paradigma do engenheiro pesquisador completo. O perfil deste profissional deve combinar as capacidades de pesquisar e inovar com o espírito empreendedor. Há uma grande oportunidade para o desenvolvimento empresarial brasileiro que depende muito desse profissional completo para atuar no setor de P&D&I empresarial. O pesquisador Engenheiro não deve apenas publicar nos melhores periódicos de engenharia, mas também deve saber monitorar o setor empresarial para que suas contribuições sejam de interesse. Deve buscar formas de viabilizar a implantação de suas idéias em empresas públicas ou privadas. Assim poderá manter um aprendizado contínuo sobre as demandas específicas e manter o círculo virtuoso da inovação, produzindo impactos sociais necessários ao nosso País.

As oportunidades para os engenheiros são muitas e devem ser aproveitadas ao máximo. Entre elas, destacam-se a colaboração com empresas internacionais no Brasil, que trazem experiência e know-how para as empresas brasileiras, ou a colaboração com os grandes centros de engenharia no mundo, especialmente na Europa, EUA e alguns países asiáticos. Tal integração, que pode ser realizada pelo envio ao exterior de bolsistas de graduação e pós-graduação como está fazendo a Capes, traz de volta, com os alunos formados, a experiência desses centros na colaboração entre universidades e empresas em engenharia. Certamente não se deve perder a oportunidade de estabelecer colaborações da academia em engenharia com as empresas brasileiras ou com os clusters de empresas brasileiras, que hoje necessitam, cada vez mais de inovação para crescer e tornar-se competitiva mais rapidamente.

No que se refere à estruturação do sistema da P&D&I e de formação de recursos humanos em engenharia, algumas metas gerais devem incluir: O desenvolvimento de redes de colaboração, com o objetivo de apoiar pesquisas voltadas para temáticas referentes aos binômios setores-empresariais/tecnologias que incluam a pesquisa de novos modelos de

negócios acoplados ao desenvolvimento dos sistemas de produção e das tecnologias de produtos. A criação de programas de formação de recursos humanos que enfrentem os desafios descritos nesta análise de forma a estimular colaboração com o setor empresarial e o desenvolvimento de novas pequenas empresas, cujo conhecimento possa suprir as demandas de empreendimentos maiores. O mestrado profissional é muito adequado como mecanismo de aproximação com as empresas. Em artigo recente, Agopyan e Oliveira (2005) apresentam uma boa análise que pode ser usada como referência nesse sentido.

Finalmente, uma perspectiva que não pode ser esquecida é a da sustentabilidade ambiental nas atividades de P&D&I em engenharia. Ela apresenta simultaneamente um desafio para a humanidade e uma grande oportunidade de inclusão nos mercados globais, que estão cada vez mais esclarecidos sobre os problemas da escassez de recursos naturais e do aquecimento global. Novas legislações, como as diretivas européias da WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), estabelecem que exportações para a União Européia somente sejam aceitas se os produtos forem compatíveis com previsões de desmontagem e reciclagem. O paradigma da sustentabilidade ambiental e as ferramentas de análise de ciclo de vida dos produtos devem, portanto, estar presentes em todas as atividades de P&D&I em Engenharia.

CONCLUSÕES

A engenharia é um poderoso instrumento para promover o desenvolvimento social de uma nação. Seu fortalecimento é peça estratégica para acelerar o progresso brasileiro. A análise dos dados mostra que nações emergentes têm investido fortemente no crescimento de suas engenharias. Há a necessidade de se continuar investindo no desenvolvimento da engenharia brasileira. A distribuição de tal investimento nas diversas áreas de engenharia deve ser equilibrada, tendo em vista as estratégias nacionais e as inter-relações tecnológicas entre as áreas. O Brasil tem um forte potencial de desenvolvimento nas diversas áreas das engenharias e deve aproveitar essa oportunidade da forma mais eficiente e rápida.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; OLIVEIRA, J. F. G. Mestrado profissional em engenharia: uma oportunidade para incrementar a inovação colaborativa entre universidades e os setores de produção no Brasil. *Revista Brasileira de Pós-Graduação*, v. 2, p. 79-89, 2005.

BRASIL. Ministério da Educação. *Plano Nacional de Pós Graduação (PNPG) 2005-2010*. Brasília, 2004.

CRUZ, C. H. B. *Palestra 3ª CNCTI 2005*. [S.l.: s.n.], 2005.

DE MEIS, L.; Arruda, A. P.; Guimarães, J. A. The impact of science in Brazil. *IUBMB Life*, v. 59, n. 4-5, p. 227-234, 2007.

NARIM, F.; HAMILTON, K. S.; OLIVASTRO, D. The increase linkage between U.S. technology and public science. *Research Policy*, n. 26, p. 317-330, 1997.

TSENG, Michell M. Industry development perspectives: global distribution of world market. In: CIRP GENERAL ASSEMBLY, 53., 2003, Montreal, Canada. *Electronic proceedings...* Disponível em: <www.cgee.org.br/cncti3/>. Acesso em: 2007.

Resumo

Este artigo apresenta uma análise sobre o desenvolvimento das engenharias no Brasil. Inicialmente são discutidas as relações entre o desempenho do setor empresarial e o amadurecimento da engenharia no país. A importância das engenharias para a operação dos sistemas de produção e serviços é destacada. São também mostrados dados comparativos sobre a geração de conhecimento nas diversas áreas das engenharias no Brasil em relação ao quadro mundial das mesmas áreas. A geração de conhecimento em engenharia no Brasil é então comparada à Coreia e Taiwan. Conclui-se que a engenharia é um poderoso instrumento para promover o desenvolvimento social de uma nação e são apresentadas algumas indicações para uma orientação sobre a estratégia brasileira no desenvolvimento das engenharias.

Abstract

This article presents an analysis on the development of the engineering in Brazil. Initially, are argued the relations between the performance of the enterprise sector and the matureness of brazilian´s engineering. Also the article shows the comparative on the generation of knowledge in the diverse areas of engineering in Brazil in relation to the world-wide picture in the same areas. The generation of knowledge in engineering in Brazil is compared with Korea and Taiwan. The conclusion is that the engineering is a powerful instrument to promote the social development of a nation and it presented some indications for an orientation on the strategical Brazilian in the development of the engineering.

Os Autores

JORGE ALMEIDA GUIMARÃES é presidente da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes/Ministério da Educação).

JOÃO FERNANDO GOMES DE OLIVEIRA é do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade de São Paulo (USP).

ALVARO TOUBES PRATA é do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).