MAPEAMENTO E PROJEÇÃO DA DEMANDA POR ENGENHEIROS POR CATEGORIA, SETOR E MICRORREGIÕES BRASILEIRAS[1]

Kênia Barreiro de Souza[2]
Edson Paulo Domingues[3]

A dinâmica econômica recente do Brasil tem aumentado a demanda por pessoal especializado, em especial engenheiros, levantando uma série de hipóteses sobre a escassez de trabalhadores qualificados. Uma das formas de evitar um problema futuro é o planejamento de longo prazo da formação de engenheiros com base em projeções consistentes da demanda por tipos específicos de mão de obra. Com o intuito de subsidiar políticas públicas nesse sentido, este trabalho apresenta uma projeção da demanda e do uso setorial de engenheiros para a economia brasileira. A metodologia leva em consideração as diversas especialidades de engenharia, um amplo conjunto de dados setoriais e regionais sobre a utilização dessa mão de obra, um cenário econômico futuro e um modelo detalhado de equilíbrio geral computável (EGC). Os resultados mostram quais são os tipos de engenharias necessários em cenários futuros da economia brasileira.

Palavras-chave: projeção de demanda; engenheiros; equilíbrio geral computável.

JEL: C68; J23.

1 INTRODUÇÃO

Com a concretização de parte das obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), do Pré-Sal e os investimentos realizados em infraestrutura para a Copa do Mundo 2014 e as Olimpíadas 2016, o Brasil, inevitavelmente, defronta-se com um aumento da demanda por profissionais altamente qualificados (Carvalho, Pereira e Oliveira, 2012), de tal forma que a definição desses investimentos desempenha uma função importante na demarcação das necessidades futuras de formação e qualificação profissional (ABDI, 2012).

Diante desse quadro, uma das profissões mais demandadas é a engenharia, que, segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI),

1. Os autores agradecem os comentários de diversos pesquisadores na oficina Construindo o Mapa da Educação Profissional no Brasil, realizada no dia 14 de maio de 2012, em uma ação conjunta da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), Ministério da Educação (MEC) e Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE).

2. Doutoranda em economia pelo Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais (Cedeplar/UFMG). *E-mail*: keniadesouza@gmail.com

3. Professor associado do Departamento de Ciências Econômicas e do Cedeplar/UFMG. Bolsista de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Programa Pesquisador Mineiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). Coordenador do Núcleo de Estudos em Modelagem Econômica e Ambiental Aplicada (Nemea). *E-mail*: domingues.edson@gmail.com

exerce um poder multiplicador na sociedade, pois domina um ramo de conhecimento vital para o fornecimento de soluções sustentáveis aos desafios sociais (Formiga, 2010), além de conduzir inovação na indústria e demais setores econômicos. Para Nascimento, Gusso e Maciente (2012), os estudos para o Brasil chegam a uma conclusão semelhante: de que a disponibilidade de mão de obra não foi fator limitante ao crescimento econômico do país nos anos 2000, o que, no entanto, não significa que o país esteja "bem servido" de recursos humanos, tampouco que os novos investimentos planejados tenham mão de obra suficiente à disposição.

O objetivo deste trabalho é construir projeções da utilização de engenheiros na economia brasileira, considerando os seguintes fatores: *i)* o uso de engenheiros por especialidade, setores econômicos e regiões; *ii)* o cenário de crescimento futuro da economia brasileira; e *iii)* os investimentos públicos e privados mais importantes e seu impacto na demanda por mão de obra qualificada.

Para tanto foi utilizado um cenário setorial e regional para a economia brasileira até 2023, que leva em conta os investimentos mais relevantes e um cenário macroeconômico consistente. Por sua vez, o mapeamento de uso de engenheiros foi compatibilizado com a estrutura setorial e regional de um modelo de equilíbrio geral computável (EGC), de forma a projetar o uso de engenheiros neste contexto.

O artigo está organizado da seguinte forma: a próxima seção discute modelos de projeção de oferta e demanda de engenheiros para a economia brasileira e a escassez de trabalhadores; a seção 3 descreve a base de dados utilizada e explora indicadores setoriais, regionais e de concentração de diversas especialidades da engenharia; a seção 4 descreve a metodologia utilizada; a seção 5 mostra as projeções de uso, com resultados por ocupação, estaduais e regionais; e a seção 6 apresenta os comentários finais.

2 MERCADO DE TRABALHO DE ENGENHEIROS

O mercado de trabalho de engenheiros foi analisado na literatura internacional sob diversas perspectivas, que incluem desde análises de oferta e demanda em mercados nacionais (Blank e Stigler, 1957; Arrow e Capron, 1959; Freeman, 1976; Ryoo e Rosen, 2004); escassez de trabalhadores qualificados (Blank e Stigler, 1957; Arrow e Capron, 1959; Hensen, 1961); discussões sobre a escolha ocupacional e o ajuste tardio na formação de novos profissionais

diante das alterações na demanda (Freeman, 1976; Ryoo e Rosen, 2004); entre outras (Atkinson, 1990; Ferrall, 1995; Freeman, 2006; Gibbs, 2006).

No caso deste trabalho, o foco principal é a estimação da demanda por engenheiros, considerando que *a priori* não existem restrições de oferta (conforme detalhado a seguir).

2.1 Demanda por engenheiros

Estimar a demanda por qualquer tipo de trabalho não é uma tarefa trivial, pois esta depende de uma série de fatores, como o crescimento econômico, as mudanças estruturais, a composição setorial da economia, a localização da produção, bem como do desenvolvimento tecnológico e inovação. Ao mesmo tempo, faz-se necessário considerar as restrições impostas pela oferta, que, por sua vez, são influenciadas pela tendência populacional; pelas taxas de participação no mercado de trabalho; pela imigração e mobilidade populacional em geral; pela oferta e decisões de educação e qualificação; e ainda pelas preferências ocupacionais (Boswell, Stiller e Straubhaar, 2004).

Com tantos aspectos envolvidos, para esses autores, as projeções da demanda são sempre incompletas, embora constituam uma ferramenta importante no desenho de políticas públicas que visam promover o desenvolvimento, fornecendo trabalhadores qualificados ao mercado e aumentando o bem-estar das famílias, por meio do crescimento da massa salarial.

Entre os estudos que procuraram realizar projeções de demanda e oferta futuras por engenheiros no Brasil, destacam-se os trabalhos de Nascimento *et al.* (2010), Pereira e Araújo (2011) e Maciente e Araújo (2011), em que as estimativas são realizadas para diferentes cenários de crescimento econômico.

Contrastando dados de requerimento técnico[4] por engenheiros com dados dos egressos dos cursos de engenharia,[5] no período de 2003 a 2008, Nascimento *et al.* (2010) estimam o estoque total de engenheiros graduados no ano de 2008, para a economia brasileira, em 750 mil profissionais, perante um requerimento total observado de 211.713 profissionais.

4. Nascimento *et al.* (2010) interpretam "requerimento técnico" como a quantidade de especialistas com esta competência profissional requerida tecnicamente para atender a um determinado nível de produção. Difere, pois, do conceito de demanda, que se refere à quantidade de profissionais que seriam empregados com um determinado nível de salário.

5. O Censo da Educação Superior define como engenharia as áreas de formação pertencentes ao grupo engenharia, produção e construção (INEP, 2011).

Os dados levantados revelam um aspecto peculiar e muito importante do mercado de trabalho de engenheiros: nem todos os diplomados vêm a ocupar no mercado de trabalho funções típicas da profissão. Para cada dois graduados em engenharia trabalhando atualmente com carteira assinada em ocupações típicas de sua formação, segundo os autores, há outros cinco em uma das seguintes situações: exercem outras ocupações; estão desempregados; exercem atividades como profissionais não assalariados; emigraram; ou estão simplesmente fora do mercado de trabalho (Nascimento *et al.*, 2010).

Considerando essa restrição, Nascimento *et al.* (2010) realizam projeções sobre a oferta e a demanda por engenheiros até o ano de 2020 em três cenários distintos, com taxas de crescimento de 3%, 5% e 7% ao ano (a.a.). Os resultados apontam que, se a proporção atual de engenheiros que não trabalham na área fosse mantida, haveria escassez desses profissionais em todos os cenários. Contudo, com a elevação dos salários, os engenheiros que estivessem fora do mercado ou em outras funções seriam atraídos e, portanto, não se poderia falar em escassez, considerando a taxa de crescimento intermediária. Ou seja, os novos egressos em engenharia adicionados ao estoque atual de profissionais deste grupo seriam suficientes para sustentar a demanda por esse tipo de qualificação.

Por sua vez, Pereira e Araújo (2011) realizaram projeções para a oferta futura de engenheiros e profissionais afins até o ano de 2020, considerando diferentes ritmos de expansão no número de concluintes em cursos de ensino superior nestas áreas. Os resultados apontam que o mercado de trabalho brasileiro possuirá, em 2020, entre 1,5 e 1,8 milhão de pessoas formadas em engenharias – por instituições brasileiras de ensino superior –, aptas a atuar em ocupações típicas da área. Os autores ressaltam algumas limitações de seu estudo, principalmente relacionadas às alterações no regime previdenciário, não consideradas no trabalho.

Ao realizarem projeções para a demanda por esse tipo de profissional, também para 2020, Maciente e Araújo (2011) desagregam sua análise para os setores econômicos. Os resultados mostram situação mais crítica em relação a uma relativa escassez de engenheiros para os setores de extração mineral (incluindo petróleo e gás), construção e infraestrutura, salientando a relevância das análises setoriais quando se pensa em escassez de mão de obra.

2.2 Escassez de engenheiros

Em meio a esse debate, emergem termos como "escassez de mão de obra especializada" e especula-se a respeito de um possível "apagão" de pessoal técnico-científico,[6] em especial, de engenheiros (Nascimento *et al.*, 2010; Pompermayer *et al.*, 2011; Maciente e Araújo, 2011).

No entanto, conforme sugerem Arrow e Capron (1959), deve-se ter muito cuidado ao interpretar o que significa a escassez de cientistas e engenheiros, pois ao menos duas explicações são possíveis: *i)* pode ocorrer uma escassez temporária, resultado do lento ajuste de preços no mercado de trabalho, o que não exigiria intervenção, pois seria corrigida pelos próprios mecanismos de mercado; ou *ii)* o país precisa de mais engenheiros e cientistas não para manter seu nível de crescimento, mas sim para acelerar o crescimento e progredir tecnologicamente; nesse caso, não existe uma escassez de pessoal qualificado, mas um limite para que o país se desenvolva.

No primeiro caso, a escassez de trabalhadores pode ser definida como a condição em que a demanda excede a oferta de trabalho em nível de salários vigentes (Boswell, Stiller e Straubhaar, 2004; Richardson, 2007). Segundo Boswell, Stiller e Straubhaar (2004), a escassez generalizada de trabalhadores é menos comum, e ocorre apenas quando a economia está próxima do pleno emprego e existe dificuldade por parte das firmas para encontrar trabalhadores de todos os tipos. Por sua vez, a escassez de trabalhadores específicos (como os engenheiros ou suas especialidades), embora suas causas sejam as mesmas (trata-se de uma demanda superior à oferta disponível em determinada qualificação) é mais comum (Richardson, 2007).

Conforme esclarecem Boswell, Stiller e Straubhaar (2004), a falta de trabalhadores específicos pode ocorrer devido à "incompatibilidade" ou *mismatch* no mercado de trabalho, podendo gerar quadros de escassez em determinada região, ocupação ou área de atuação. Segundo os autores, há ao menos quatro tipos de *mismatch*: *i)* qualitativo; *ii)* regional; *iii)* de preferência; e *iv)* devido a *deficit* de informação.

No primeiro caso, *mismatch* qualitativo, embora existam trabalhadores suficientes, estes não possuem o nível de qualificação ou de habilidades requeridas pelo mercado, seja por falta de experiência ou má formação. Por

6. Araújo, Cavalcante e Alves (2009) denominam como pessoal técnico-científico: pesquisadores, engenheiros, diretores e gerentes de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e profissionais científicos.

sua vez, os dois casos seguintes ocorrem em decorrência do fato de que o salário não é a única variável levada em consideração pelo trabalhador no momento da decisão de qualificação e escolha ocupacional. O local importa, e, portanto, poderá ocorrer *mismatch* regional quando, embora em termos agregados exista equilíbrio entre a oferta e a demanda, os trabalhadores não estão dispostos a se deslocar para cidades ou regiões onde existe oferta de emprego. Da mesma forma, pode ocorrer *mismatch* de preferências, pois mesmo que existam vagas, nem todos os que procuram emprego se adequam às características exigidas na ocupação. Por fim, existem *deficit* relacionados à informação, que tendem a ser solucionados tão logo vagas e trabalhadores se "encontrem" por meio dos tradicionais mecanismos de mercado.

Em quaisquer desses casos, segundo Boswell, Stiller e Straubhaar (2004), é importante ter em mente que a escassez de trabalhadores poderá sempre coexistir com o desemprego. Ou seja, do lado da oferta muitas vagas não são preenchidas em decorrência da falta de habilidades específicas, ou porque os trabalhadores desempregados não estão dispostos a ocupar determinadas atividades ou se deslocar para outras regiões; ao mesmo tempo que, do lado da demanda, os empregadores não estão dispostos a pagar salários melhores ou criar condições que encorajem a mudança de ocupação ou geográfica.

De forma geral, o *mismatch* ocorre por falhas no ajuste de mercado, diante das quais políticas públicas podem atuar, buscando acelerar o processo de reajuste. Entretanto, quando o objetivo é criar condições para a aceleração do crescimento, as projeções de demanda, como as realizadas neste estudo, constituem subsídio para a adequação da oferta às condições da demanda, permitindo que o país se prepare para formar trabalhadores em número suficiente e com a qualificação necessária não apenas para cumprir sua trajetória atual, mas também para aumentar seu produto potencial.

Nesse contexto, é possível argumentar que o crescimento do emprego e do nível de atividade no Brasil pode esbarrar na dificuldade de contratação de mão de obra especializada, representando um obstáculo ao desenvolvimento econômico, diminuindo os impactos benéficos de conjunturas favoráveis de crescimento e oportunidades de investimento.

3 BASE DE DADOS E INDICADORES DA OCUPAÇÃO DE ENGENHARIAS

3.1 Dados de emprego por setor, microrregião e ocupação

Para a desagregação dos dados de emprego por setor, ocupação e microrregião foi utilizada a Relação Anual de Informações Sociais (Rais) 2010,[7] cujos dados são disponibilizados pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) (Brasil, 2011) e contêm informações anuais sobre o mercado de trabalho formal no Brasil.

A Rais é um registro administrativo de âmbito nacional, de preenchimento obrigatório para todos os estabelecimentos no país com cinco ou mais empregados, que reúne as informações necessárias para monitorar os movimentos no mercado de trabalho e controlar os registros relativos ao Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), as contribuições e benefícios relacionados à previdência social e aos pagamentos de abono salarial, entre outros (Brasil, 2010).

A base de dados agregada permite o acesso ao número de estabelecimentos e de empregados, os quais podem ser classificados de acordo com: as características do tipo de trabalhador – rendimento, faixa etária, nível de escolaridade, entre outras; as características regionais – estados, regiões, mesorregiões, microrregiões e municípios; por setor de atividades – segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE); por ocupação – de acordo com o Código Brasileiro de Ocupações (CBO); entre outras características – tipo de estabelecimento, tipo de vínculo empregatício etc.

Segundo o MTE (Brasil, 2010), a principal vantagem dos dados está na abrangência das informações, tanto em nível regional quanto ocupacional, setorial e temporal. No entanto, há alguns fatores limitantes: *i)* os registros são preenchidos pelos próprios estabelecimentos, causando omissões e erros; *ii)* as declarações são agregadas pela empresa matriz; logo, os dados regionais referem-se à unidade contratante, e não necessariamente à região onde o trabalhador efetivamente atua; e *iii)* há um viés setorial de não declarantes, especialmente em setores com presença maciça de microempresas com menos de cinco empregados.

Por conseguinte, com a devida cautela no uso e na interpretação dos dados, foi possível a compatibilização das informações referentes à composição

7. Vale ressaltar que os dados da Rais 2010 foram utilizados como base para a calibragem das ocupações por se tratarem dos mais recentes até o momento da realização da pesquisa.

ocupacional, setorial e regional da mão de obra, com os setores do modelo Integrated Multi-Regional Applied General Equilibrium Model – Brazil (Imagem-B).[8]

3.2 Indicadores setoriais e regionais

A partir dos dados da Rais 2010, foram identificados 212.934 engenheiros de diversas áreas, que correspondem a aproximadamente 0,5% do total de trabalhadores formais no Brasil. As informações de Famílias Ocupacionais (quatro dígitos) do CBO permitiram a identificação de treze categorias de engenheiros, conforme a tabela 1.

TABELA 1
Total de engenheiros em ocupações típicas por categoria

Família CBO	Descrição	**Total de trabalhadores**
2021	Engenheiros mecatrônicos	**302**
2122	Engenheiros em computação	**3.510**
2140	Engenheiros ambientais e afins	**123**
2142	Engenheiros civis e afins	**72.158**
2143	Engenheiros eletricistas, eletrônicos e afins	**33.870**
2144	Engenheiros mecânicos e afins	**30.080**
2145	Engenheiros químicos e afins	**11.954**
2146	Engenheiros metalurgistas, de materiais e afins	**3.541**
2147	Engenheiros de minas e afins	**3.330**
2148	Engenheiros agrimensores e cartógrafos	**907**
2149	Engenheiros de produção, qualidade, segurança e afins	**31.783**
2221	Engenheiros agrossilvipecuários	**21.347**
2222	Engenheiros de alimentos e afins	**29**
-	**Total de engenheiros em ocupações típicas**	**212.934**

Fonte: Dados da Rais (Brasil, 2011).
Elaboração dos autores.

Vale ressaltar que o número total de engenheiros formados no Brasil e trabalhando no mercado formal é superior a esse valor, na medida em que, independentemente de sua formação, esses trabalhadores podem atuar em outras ocupações, como gerentes, empresários, entre outras. Desta forma,

8. Para a compatibilização foi utilizada a correspondência entre o Sistema de Contas Nacionais (SCN) e a CNAE disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), disponível em: <http://concla.ibge.gov.br/en/classificacoes/correspondencias/atividades-economicas>.

ao longo do texto, as informações coletadas serão tratadas como engenheiros em ocupações típicas.

Mais de 30% dos engenheiros registrados pela Rais estão ligados à engenharia civil, o que se reflete diretamente na concentração setorial; apenas o setor de construção reúne 16,33% do total de engenheiros (tabela 2), seguido por serviços prestados às empresas (15,72%) e administração pública e seguridade social (10,07%).

TABELA 2
Vinte setores com maior participação percentual do total de engenheiros (2010)

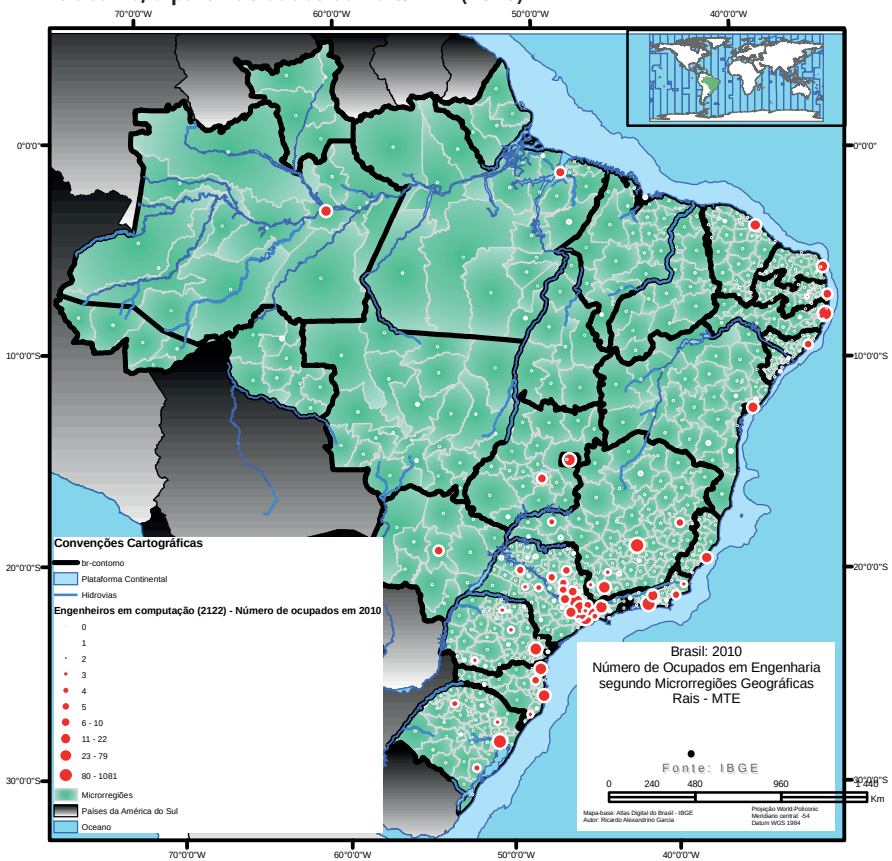
Setor de atividade econômica	% do total de engenheiros
Construção	16,33
Serviços prestados às empresas	15,72
Administração pública e seguridade social	10,07
Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	6,81
Comércio	5,78
Serviços de informação	3,97
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	3,33
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	3,07
Refino de petróleo e coque	3,04
Transporte, armazenagem e correio	2,46
Petróleo e gás natural	2,14
Alimentos e bebidas	1,83
Peças e acessórios para veículos automotores	1,69
Serviços imobiliários e aluguel	1,55
Fabricação de aço e derivados	1,47
Outros serviços	1,42
Automóveis, camionetas e utilitários	1,42
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	1,41
Educação mercantil	1,38
Produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos	1,25
Total	**86,15**

Fonte: Dados da Rais (Brasil, 2011).
Elaboração dos autores.

Territorialmente, as maiores concentrações estão nos estados de São Paulo (36,10% do total de engenheiros), Rio de Janeiro (14,01%) e Minas Gerais (11,00%). Os dados microrregionais mostram que os grandes centros urbanos são as regiões que mais atraem esses trabalhadores, como pode ser

observado no mapa 1 e na tabela 3. Tal fato deve-se, entre outros motivos, à concentração das atividades produtivas nesses centros, em especial os setores de serviços, como construção, serviços prestados às empresas, serviços industriais de utilidade pública etc.

MAPA 1
Distribuição microrregional de engenheiros ocupados no mercado formal de trabalho, a partir de dados da Rais/MTE (2010)



Fonte: Brasil (2010).
Elaboração dos autores.

TABELA 3
Brasil: microrregiões com as dez maiores concentrações do total de engenheiros registrados no mercado formal (2010)

UF	Microrregião	% do total
SP	São Paulo	17,16
RJ	Rio de Janeiro	10,62
MG	Belo Horizonte	6,73
PR	Curitiba	3,98
SP	Campinas	3,35
BA	Salvador	3,33
SP	São José dos Campos	2,84
RS	Porto Alegre	2,53
DF	Brasília	2,49
PE	Recife	2,40
Total		**55,41**

Fonte: Brasil (2011).
Elaboração dos autores.

3.3 Indicadores de concentração de ocupações

Para uma análise exploratória dos dados, a concentração regional desses trabalhadores foi analisada por meio do quociente locacional (QL), que mensura a intensidade relativa do uso de engenheiros em cada microrregião, em relação à economia como um todo. Formalmente:

$$QL = \frac{\frac{E_{lk}}{E_{.k}}}{\frac{E_{l.}}{E_{..}}} \quad (1)$$

em que:

E_{lk} é o número de engenheiros da categoria l na microrregião k;

$E_{.k} = \sum_{l=1}^{13} E_{lk}$ é o número total de engenheiros (todas as treze categorias) na microrregião k;

$E_{l.} = \sum_{k=1}^{558} E_{lk}$ é o número de engenheiros da categoria l em todo o Brasil; e

$E_{..} = \sum_{k=1}^{558} \sum_{l=1}^{3} E_{lk}$ é o número total de engenheiros no país.

Logo, se $QL = 1$, a proporção de engenheiros de determinada categoria na região é idêntica à nacional. Se $QL > 1$, a região possui concentração acima da média nacional para aquela especialidade; e, finalmente, se $QL < 1$, a região possui uma proporção abaixo da média para determinada categoria de engenheiros. Devido à elevada dispersão dos dados, foram consideradas para o cálculo apenas as microrregiões com número de engenheiros maior ou igual a cinco.

Por se tratar de uma medida relativa, os resultados apontam que algumas localidades, embora com número absoluto de engenheiros inferior ao das grandes capitais, possuem especialização em determinadas categorias. As maiores concentrações ocorrem para categorias como engenheiros de minas, químicos, em computação, metalurgistas, mecânicos, mecatrônicos, agrimensores e cartógrafos (apêndice A).

A concentração regional de engenheiros está diretamente relacionada à estrutura produtiva especializada de algumas microrregiões, o que provê indícios do comportamento da demanda futura por engenheiros. Esse é o caso, por exemplo, de Parauapebas, cujo QL para engenheiros de minas e afins é de 68,84, ou seja, a região apresenta uma proporção de engenheiros de minas quase setenta vezes acima da média nacional, o que pode ser explicado pela localização da Mina de Ferro de Carajás, de propriedade da Vale no município de Parauapebas.

3.4 Multiplicadores de emprego[9]

Os multiplicadores do emprego são calculados a partir do modelo insumo-produto, permitindo a consideração não apenas dos efeitos diretos de variações na produção final, mas também dos efeitos indiretos desencadeados no restante da economia. Parte-se da solução do sistema insumo-produto, cujo pressuposto básico é de que os fluxos interindustriais do setor *i* para o setor *j* dependem unicamente do produto bruto do setor *j* em determinado período. Desta forma, definem-se os *requerimentos diretos de produção*, ou *coeficientes técnicos* (a_{ij}), como a relação entre insumo adquirido do setor *i* para ser utilizado na produção de *j*:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} \tag{2}$$

9. A metodologia para o cálculo dos multiplicadores está baseada em Miller e Blair (2009).

em que z_{ij} é o fluxo de consumo intermediário do setor i para o setor j e x_j é o valor da produção no setor j. Logo, pelo lado das vendas, a produção total do setor j é composta por uma parcela destinada ao consumo intermediário – definida como $z_{ij} = a_{ij} x_j$ pela equação (2) – e outra parcela destinada ao consumo final (f_j). Em formato matricial:

$$X = AX + f \tag{3}$$

em que X é o vetor de produção, A é a matriz de coeficientes técnicos e f é o vetor de demanda final. Resolvendo (3) para X, tem-se:

$$X = (I - A)^{-1} f = Bf$$

em que B é a *matriz inversa de Leontief* ou *matriz de requerimentos totais* cujos elementos ou coeficientes técnicos são representados por α_{ij}.

Por fim, o multiplicador do emprego será dado pela relação entre a produção total de cada setor e o uso de cada tipo de emprego, multiplicados pelos coeficientes da matriz inversa de Leontief; formalmente o multiplicador do emprego para a categoria de engenheiros l, no setor j, será dado por:

$$m_{lj} = \sum_{i=1}^{n} \frac{E_{lj}}{x_j} * \alpha_{ij} \tag{5}$$

em que E_{ij} é o total de engenheiros da categoria l que trabalha no setor j.

Desta forma, o coeficiente pode ser interpretado como o número de empregos gerados em cada categoria de ocupação a partir de mudanças na demanda final em determinado setor, sendo contemplados tanto os efeitos diretos quanto indiretos. Ou ainda, o somatório dos coeficientes para todas as engenharias revela o número de engenheiros (de todas as formações) que serão demandados a partir de uma determinada variação na demanda final de um setor.

Por exemplo, para o setor de máquinas, aparelhos e materiais elétricos, o multiplicador do total de engenheiros foi de 20,72, indicando que a cada aumento de R$ 100 milhões na produção do setor serão requeridos 20,72 engenheiros, sendo 8,21 engenheiros eletricistas, eletrônicos e afins e os demais de outras áreas, conforme pode ser observado na tabela 4.

TABELA 4
Setores com maiores multiplicadores do emprego
(R$ 100 milhões de aumento na demanda final do setor)

Engenheiros	Setor de atividade econômica					
	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	Serviços prestados às empresas	Construção	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalares, medida e óptico	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	Eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana
Mecatrônicos	0,09	0,02	0,02	0,11	0,08	0,00
Em computação	0,34	0,36	0,05	0,35	0,13	0,06
Ambientais	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01
Agrossilvipecuários	0,17	2,77	0,29	0,13	0,23	0,31
Civis	1,76	7,50	11,79	1,10	1,66	4,59
Eletricistas, eletrônicos	8,21	2,88	1,82	7,05	2,65	4,78
Mecânicos	5,86	2,60	1,44	5,05	3,68	1,74
Químicos	0,47	1,26	0,37	0,59	0,78	0,50
Metalurgistas, de materiais	0,36	0,19	0,11	0,41	0,65	0,06
De minas	0,09	0,29	0,13	0,04	0,15	0,05
Agrimensores e cartógrafos	0,01	0,19	0,07	0,01	0,01	0,05
De produção, qualidade, segurança	3,36	1,71	1,66	2,46	3,18	0,66
Total por setor	**20,72**	**19,79**	**17,74**	**17,30**	**13,19**	**12,81**

Elaboração dos autores.

Os resultados do multiplicador de emprego mostram que os setores com maior capacidade de gerar demandas por engenheiros tanto direta quanto indiretamente são: máquinas, aparelhos e materiais elétricos, serviços prestados às empresas, construção, aparelhos e instrumentos médico-hospitalares de medida e óptico, máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos e eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana. Naturalmente, as categorias mais demandadas de engenheiros são aquelas com maior participação no total de trabalhadores: civis e afins e eletricistas e eletrônicos.

4 METODOLOGIA PARA O CENÁRIO DO USO DE ENGENHARIAS

A metodologia utilizada é baseada na integração de um modelo de consistência macroeconômico e um modelo EGC inter-regional. O cenário macroeconômico capta algumas modificações estruturais, tais como mudanças tecnológicas e alterações de padrões de consumo e preferências, e utiliza tendências regionais e setoriais de deslocamento do investimento. A partir destas informações, o modelo Imagem-B produz o cenário estadual e setorial de crescimento da economia, que também é estimado para as 558 microrregiões. Com a utilização da matriz de ocupações de engenharias por setor e microrregiões, delineadas na seção anterior, são estimados os impactos sobre a utilização destas ao longo do cenário.

4.1 Modelo Imagem-B, cenário macroeconômico, regional e de uso de mão de obra qualificada

4.1.1 Cenário macroeconômico

A construção do cenário macroeconômico parte de um modelo teórico de consistência macroeconômica desenvolvido no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) por Giambiagi e Pastoriza (1997). O modelo foi atualizado e calibrado para aplicações em EGC no Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais (Cedeplar/UFMG) para o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), conforme detalhado em Brasil (2008). Segundo Giambiagi e Pastoriza (1997), o modelo de consistência macroeconômica é construído a partir de um conjunto de identidades (contábeis) macroeconômicas e de relações paramétricas entre variáveis macroeconômicas, sendo parte destas variáveis exógenas. Calibrando os resultados macroeconômicos nacionais no modelo EGC, é possível obter

resultados consistentes para as variáveis macroeconômicas – produto interno bruto (PIB), consumo das famílias, investimento, consumo do governo e exportações – em nível estadual no médio e longo prazo.

A principal vantagem na utilização do modelo de consistência macroeconômica é a flexibilidade com que é possível modificar as variáveis exógenas (o PIB como a principal delas) e observar o comportamento das demais variáveis, tanto fiscais quanto do setor externo e das contas nacionais. O modelo possui ainda a vantagem de ser capaz de identificar possíveis combinações de valores das variáveis exógenas que geram determinados resultados para a dinâmica das variáveis endógenas. É possível, pois, conhecer combinações de valores das variáveis compatíveis com um quadro de equilíbrio interno e externo.

A tabela 5 mostra o conjunto de agregados macroeconômicos, de acordo com o Cenário-Base de Referência,[10] estimados no modelo de consistência macroeconômica a partir de 2012. Estas variáveis representam os insumos de entrada para cada simulação de cenário, na forma de taxa de variação percentual a.a. Assim, o cenário-base para a economia brasileira, ancorado no crescimento do PIB (variável exógena) de 3% a partir de 2012,[11] aponta um arrefecimento do investimento, das exportações e das importações até 2023. O consumo das famílias e do governo, *grosso modo*, mantém-se estável durante todo o período.

TABELA 5
Cenário macroeconômico de referência
(Variação % a.a.)

	2012-2015	2016-2019	2020-2023
PIB	3,00	3,00	3,00
Consumo das famílias	2,12	2,42	3,12
Investimento	4,80	4,24	2,43
Consumo do governo	2,11	2,88	3,12
Exportações	11,52	6,08	5,33
Importações	8,80	5,15	5,02
Emprego	3,00	3,00	3,00

Fonte: Brasil (2008) – Cedeplar/UFMG.

10. O Cenário-Base de Referência representa conceitualmente uma trajetória de crescimento equilibrado (*business-as-usual*) para a economia brasileira, que leva em conta a continuidade das políticas macroeconômicas vigentes e tendências setoriais e regionais de investimentos, das exportações e do emprego.

11. Vale ressaltar que o modelo Imagem-B é de estática comparativa e, desta forma, o ajuste da economia é linear em relação ao cenário-base; portanto, cenários alternativos modificam o resultado em proporções fixas.

4.1.2 Investimentos setoriais e regionais

No que tange ao investimento, uma informação relevante refere-se à mudança de participação e composição regional e setorial deste componente ao longo do período. De posse deste cenário macroeconômico, podem-se avaliar ainda os cenários relativos às escalas macrorregionais, estaduais e setoriais, obtidos a partir das simulações com o modelo EGC. A partir destas serão estimados os impactos sobre a demanda por mão de obra de engenheiros.

Uma informação adicional nas simulações do cenário são os parâmetros regionais e setoriais de investimento público e privado. Estas informações servem para direcionar, por setor e região, parte do crescimento do investimento macroeconômico do cenário-base. Na ausência destas informações, o investimento seria automaticamente alocado pelo modelo nos setores e estados da matriz inicial de investimentos (ano-base 2011 e simulações a partir de 2012). Dessa forma, as simulações capturam desvios setoriais e regionais dos investimentos, calibrados de acordo com informações de projeções e anúncios de investimentos coletados em diversas fontes: BNDES, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan), CNI, Planos Plurianuais (PPAs) Estaduais, entre outras.

O cenário de referência incorpora também dados de investimentos públicos considerados mais relevantes e prováveis no período. Entre estes, destacam-se os investimentos em petróleo, gás, refino e petroquímica, associados ao Pré-Sal, além dos investimentos em infraestrutura (energia, saneamento, transportes e habitação). O detalhamento destes investimentos está descrito na tabela A.1, no anexo A. Os dados referentes aos investimentos do PAC foram obtidos do *site* oficial do programa[12] e de informações anteriores (Brasil, 2008). O critério foi adotar para cada estado o maior valor de investimento entre as duas bases de informações. Para os dados do PAC foi considerado o período entre 2012 e 2015, cujas obras foram definidas em licitação ou em contratação. Para o período 2016-2023, a fonte foram os dados oficiais de programas de longo prazo em saneamento, habitação, energia elétrica, recursos hídricos e transportes. Além destes, parte do investimento associado ao Pré-Sal foi alocada neste período.[13]

12. Disponível em: <www.brasil.gov.br/pac>. Acessado entre agosto e setembro de 2010.

13. A tabela completa de dados pode ser encontrada em Brasil (2008).

No período relativo a 2012-2015, os investimentos chegam a mais de R$ 800 bilhões, ou R$ 212 bilhões a.a. Percebe-se, com maior proeminência, sua concentração nos estados do Rio de Janeiro (22%) e de São Paulo (23%), totalizando 45% dos investimentos previstos. Para 2012-2015, grande parte deles está em petróleo e gás (30%), seguido de telecomunicações com 14%. A carteira 2016-2023 reflete investimentos de longo prazo de infraestrutura, que constam de diversos documentos do governo federal em quatro áreas: saneamento, habitação, eletricidade e recursos hídricos.

4.1.3 Cenário setorial e estadual

Diante desse cenário, a tabela 6 reporta as taxas de crescimento do PIB setorial para os três subperíodos, na forma de variações médias anuais, em cinco grandes setores. O crescimento no primeiro período (2012-2015) foi acentuado devido às obras de investimento, concentradas na indústria e na extrativa mineral, que induzem o crescimento no setor de construção civil (como insumo básico para investimentos produtivos).

TABELA 6
Taxa de crescimento do PIB setorial no cenário-base
(Variação % a.a.)

	2012-2015	2016-2019	2020-2023
Agropecuária	2,60	2,75	2,79
Extrativa mineral	5,44	3,88	3,88
Indústria	3,91	3,10	3,10
Construção civil	4,74	2,50	2,50
Serviços	2,42	3,36	3,36

Fonte: Modelo Imagem-B.
Elaboração dos autores.

Como consequência, o cenário projeta um crescimento mais intenso do setor extrativista mineral ao longo de quase todo o cenário, acompanhado também pela construção civil no primeiro subperíodo compatível com as maiores taxas de crescimento do investimento. Nos dois últimos subperíodos (2016-2023), entretanto, observa-se que o crescimento dos setores diretamente afetados pelos investimentos se estabiliza, enquanto o setor de serviços e a agropecuária iniciam uma trajetória de crescimento mais significativa, beneficiando-se do crescimento econômico geral.

Podem-se desagregar ainda esses resultados em taxas de crescimento do PIB por Unidade da Federação (UF) no cenário-base (tabela 7).

TABELA 7
Taxa de crescimento do PIB estadual no cenário-base
(Variação % a.a.)

Estados	2012-2015	2016-2019	2020-2023
Rondônia	3,22	3,18	2,95
Acre	2,33	2,89	3,05
Amazonas	3,54	3,52	3,20
Roraima	2,02	2,98	3,20
Pará	3,48	3,37	3,13
Amapá	1,72	2,75	2,92
Tocantins	3,16	3,17	2,69
Maranhão	2,20	2,76	2,95
Piauí	1,98	2,61	2,67
Ceará	3,05	3,29	3,14
Rio Grande do Norte	2,41	3,07	3,13
Paraíba	2,20	2,86	3,07
Pernambuco	2,80	3,08	3,03
Alagoas	2,09	2,54	2,66
Sergipe	2,66	3,04	3,17
Bahia	3,48	3,35	3,19
Minas Gerais	3,09	2,96	2,78
Espírito Santo	3,77	2,64	2,74
Rio de Janeiro	2,59	2,58	3,24
São Paulo	3,05	3,07	2,98
Paraná	3,20	3,21	3,17
Santa Catarina	3,02	2,86	2,68
Rio Grande do Sul	2,98	2,81	2,77
Mato Grosso do Sul	2,89	3,03	2,95
Mato Grosso	4,00	3,54	3,48
Goiás	3,78	3,53	3,27
Distrito Federal	1,48	2,79	3,34
Brasil	**3,00**	**3,00**	**3,00**

Fonte: Modelo Imagem-B.
Elaboração dos autores.

O crescimento expressivo, por exemplo, da região Norte é liderado, sobretudo, pelos estados do Amazonas e do Pará (principalmente entre 2012

e 2019). A região Nordeste, por sua vez, tem crescimento engendrado pelo estado da Bahia, o qual apresenta taxas de crescimento do PIB acima da média durante todo o período, seguido por Ceará e Pernambuco ganham força a partir do segundo período. As projeções abaixo da média para os estados do Maranhão, Piauí e Alagoas, contudo, corroboram a estrutura menos diversificada e industrializada de suas economias.

Por sua vez, as regiões Sudeste e Sul, de estrutura produtiva mais diversificada, apresentam taxas de crescimento econômico relativamente menos intensas, com exceção dos estados do Rio de Janeiro e do Paraná. A região Centro-Oeste, no entanto, tem crescimento potencial mais elevado no cenário até 2023, em razão, sobretudo, dos estados do Mato Grosso e de Goiás, compatíveis com a expansão da fronteira agrícola brasileira e de novos investimentos previstos nestes estados.

5 PROJEÇÕES DO USO DE ENGENHARIAS NA ECONOMIA BRASILEIRA (2012 A 2023)

Ao se utilizar o nível de emprego de engenheiros por microrregiões e setores (Rais 2010), pode-se projetar o uso de engenheiros em 2023 a partir das mudanças na produção observadas no cenário base de crescimento econômico do período, considerando a diversidade da estrutura produtiva e a composição setorial do uso de engenheiros. Partindo do arcabouço de EGC, assumem-se coeficientes fixos no uso de engenheiros por setor, sem a possibilidade de substituição por outros tipos de trabalhadores. Logo, se a produção de determinado setor cresce, o requerimento de engenheiros na economia aumenta diretamente com a proporção de uso do fator trabalho desse setor e indiretamente por meio dos efeitos multiplicadores desencadeados no restante da economia.

Vale ressaltar que os resultados apontam as variações no uso do fator trabalho, ou no emprego, e não na demanda por trabalho. A metodologia considera oferta e demanda por trabalho determinadas simultaneamente, sendo que, diante do cenário base traçado, o equilíbrio entre oferta e demanda é ajustado via alterações no preço do fator trabalho (salários).

Assume-se ainda que os trabalhadores atuais não aumentam as horas trabalhadas para atender ao crescimento no emprego, e todos os novos trabalhadores contratados terão a mesma produtividade dos antigos.

Desta forma, pode-se dizer que as variações no emprego são medidas em "equivalente homem-hora".

5.1 Resultados por ocupação

Em termos agregados, o uso de engenheiros em todo o Brasil deve aumentar em média 3,76% a.a., o que representa um crescimento de 49,22% entre 2012 e 2023, elevando o uso de engenheiros de 228.582 trabalhadores (em equivalente homem-hora) em 2012 para 341.080 em 2023 (tabela 8). Em termos relativos, a categoria que ganha maior participação com o crescimento entre 2012 e 2023 é a de engenheiros mecânicos e afins, que passa de 32.573 postos de trabalho em 2012 para 50.607 em 2023, um crescimento anual médio de 4,09%.

TABELA 8
Variação no emprego por categoria de engenharia (2012 e 2023)

Engenheiros	2012	2023	Variação
Mecatrônicos	326	501	175
Em computação	3.761	5.509	1.748
Ambientais e afins	130	175	45
Civis e afins	77.160	113.712	36.552
Eletricistas, eletrônicos e afins	36.468	55.064	18.596
Mecânicos e afins	32.573	50.607	18.033
Químicos e afins	12.926	19.996	7.070
Metalurgistas, de materiais e afins	3.839	6.019	2.180
De minas e afins	3.611	5.661	2.050
Agrimensores e cartógrafos	961	1.334	373
De produção, qualidade, segurança e afins	34.329	52.650	18.321
Agrossilvipecuários	22.468	29.814	7.346
De alimentos e afins	30	39	8
Total	**228.582**	**341.080**	**112.498**

Elaboração dos autores.

Em decorrência da localização e da concentração dos investimentos projetados em alguns setores específicos, ocorre uma alteração na composição da mão de obra, que beneficia as categorias de ocupação ligadas principalmente a setores de alta tecnologia e às indústrias extrativas. Esse é o caso de engenheiros mecânicos e afins; de produção, qualidade, segurança e afins; químicos e afins; eletricistas, eletrônicos e afins; metalurgistas e afins; e de minas e afins (tabela 9).

TABELA 9
Participação percentual no total de engenheiros empregados por categoria (2012 e 2023)

Engenheiros	2012	2023	Variação
Mecânicos e afins	14,25	14,84	0,59
De produção, qualidade, segurança e afins	15,02	15,44	0,42
Químicos e afins	5,66	5,86	0,21
Eletricistas, eletrônicos e afins	15,95	16,14	0,19
Metalurgistas, de materiais e afins	1,68	1,76	0,09
De minas e afins	1,58	1,66	0,08
Mecatrônicos	0,14	0,15	0,00
Ambientais e afins	0,01	0,01	0,00
Agrimensores e cartógrafos	0,06	0,05	–0,01
Em computação	0,42	0,39	–0,03
Civis e afins	1,65	1,62	–0,03
Agrossilvipecuários	33,76	33,34	–0,42

Elaboração dos autores.

5.2 Resultados estaduais

Em termos regionais, 59,35% do aumento no emprego em engenharias concentram-se na região Sudeste, o que é um resultado esperado, dado o agrupamento de atividades produtivas na região, em especial no estado de São Paulo, que passaria a ter 122.489 engenheiros empregados em 2023, seguido pelo Rio de Janeiro e Minas Gerais, com, respectivamente, 45.759 e 35.936 trabalhadores (tabela 10).

Não obstante, em termos proporcionais ao estoque inicial de engenheiros, o estado mais beneficiado seria o Mato Grosso, que aumentaria quase duas vezes o uso de todas as categorias de engenharias, passando de 2.340 em 2012 para 6.587 em 2023, seguido de Goiás, cujo crescimento médio anual projetado foi 6,04%. Os menores crescimentos proporcionais ficam com o Distrito Federal e Alagoas, que, ainda assim, elevam o número de engenheiros empregados em 29,10% e 30,22%, respectivamente, ao longo de todo o período.

TABELA 10
Variações no uso de engenheiros por UF[1]

UF	Número de trabalhadores[2]			Crescimento (%)	
	2012	2023	Variação entre 2012 e 2023	Em relação ao total no Brasil	Por UF
Mato Grosso	2.340	6.587	4.247	3,78	181,52
Goiás	4.322	8.239	3.917	3,48	90,63
Bahia	9.513	15.307	5.794	5,15	60,90
Pará	3.513	5.584	2.071	1,84	58,95
Amazonas	2.730	4.275	1.545	1,37	56,58
Paraná	14.067	21.509	7.442	6,61	52,90
Ceará	3.130	4.699	1.569	1,39	50,12
Rio Grande do Norte	2.017	3.023	1.006	0,89	49,88
São Paulo	82.548	122.489	39.941	35,50	48,39
Sergipe	1.599	2.361	763	0,68	47,70
Rondônia	179	262	83	0,07	46,44
Espírito Santo	4.197	6.137	1.940	1,72	46,21
Santa Catarina	7.963	11.628	3.665	3,26	46,03
Rio Grande do Sul	10.813	15.783	4.970	4,42	45,96
Maranhão	2.312	3.370	1.058	0,94	45,76
Tocantins	881	1.278	396	0,35	44,98
Rio de Janeiro	31.803	45.759	13.956	12,41	43,88
Minas Gerais	25.006	35.936	10.931	9,72	43,71
Pernambuco	7.165	10.204	3.040	2,70	42,42
Mato Grosso do Sul	1.945	2.753	808	0,72	41,52
Amapá	306	420	114	0,10	37,30
Roraima	450	615	165	0,15	36,78
Paraíba	2.053	2.806	753	0,67	36,68
Piauí	1.161	1.563	402	0,36	34,65
Alagoas	1.035	1.348	313	0,28	30,22
Distrito Federal	5.533	7.144	1.610	1,43	29,10
Total no Brasil	**228.582**	**341.080**	**112.498**	**100,00**	**49,22**

Elaboração dos autores.

Notas: [1] O Acre não foi incluído na análise deste trabalho, pois o número de engenheiros registrados na Rais 2010 parece subestimado.

[2] Em equivalente homem-hora.

Do crescimento do emprego em São Paulo, 24,76% seriam em engenharia civil e afins; 20,89%, em engenheiros eletricistas, eletrônicos e afins; outros 20,89%, em engenheiros mecânicos e afins; 19,88%, em engenheiros de produção, qualidade, segurança e afins; e o restante, nas

demais categorias. Para o Rio de Janeiro, o segundo estado no aumento do emprego, dos 13.956 postos criados, 29,21% seriam de engenheiros mecânicos e afins; 18,53%, para engenheiros de produção, qualidade, segurança e afins; 18,51%, para engenheiros químicos e afins; e o restante, nas demais categorias.

Como categoria de maior estoque inicial de trabalhadores e que mais cresceu de acordo com a simulação, o grupo de engenheiros civis e afins seria o responsável por 70,27% do crescimento do emprego em engenharias no Mato Grosso, 62,51% do emprego em Goiás e 63,78% no Piauí. A segunda categoria que mais contribuiria para o crescimento do emprego seria a de engenheiros agrossilvipecuários, responsável por 27,35% do aumento no emprego em engenharias na Paraíba, 25,04% em Roraima e 23,48% no Amapá.

5.3 Resultados microrregionais

Os resultados estaduais foram decompostos para municípios e microrregiões, de forma consistente. Adota-se a hipótese de que existem setores locais, estaduais e nacionais, ou seja, cujo comércio inter-regional está limitado ao município, ao estado ou às fronteiras nacionais. Desta forma, são desconsideradas mudanças significativas de comércio inter-regional e impactos de fronteira.

A tabela 11 ilustra o emprego adicionado por microrregiões para todas as engenharias e enfatiza a concentração de engenheiros na região Sudeste, principalmente em torno da região metropolitana (RM) de São Paulo.

Novamente, os indicadores de crescimento relativo mostram que a microrregião de São Paulo perde 0,41% da participação no emprego total em engenharias. O mesmo ocorre para outros grandes centros, como Rio de Janeiro, Distrito Federal e Belo Horizonte. No entanto, ganham participação as microrregiões de Cuiabá, que passa a 1,26% do total de engenheiros empregados no país, seguida de Goiânia, Salvador e Macaé.

Em termos gerais, a distribuição espacial regional do emprego em engenharias se mantém, acompanhando a distribuição da produção no país, de forma que 59,35% do total de empregos criados em todos os ramos localizam-se no Sudeste. Para algumas especialidades de alta tecnologia, como engenheiros mecatrônicos e em computação, mais de 60% do emprego concentram-se no estado de São Paulo, em especial na RM e em outras microrregiões de maior população no estado.

TABELA 11
Maiores variações no uso de engenheiros de todas as categorias, por microrregião
(Em % do total)

UF	Microrregiões que ganharam participação	Participação em 2012	Participação em 2023	Variação
MT	Cuiabá	0,56	1,26	0,70
GO	Goiânia	1,14	1,58	0,44
BA	Salvador	3,24	3,55	0,31
RJ	Macaé	1,66	1,93	0,27
PR	Curitiba	4,15	4,28	0,13
SP	São José dos Campos	1,91	2,01	0,09
SP	Guarulhos	0,76	0,84	0,07
SP	Jundiaí	0,83	0,90	0,07
MT	Alto Teles Pires	0,10	0,15	0,05
GO	Anápolis	0,11	0,16	0,05
UF	Microrregiões que perderam participação	Participação em 2012	Participação em 2023	Variação
RJ	Rio de Janeiro	10,68	10,09	–0,59
SP	São Paulo	17,86	17,45	–0,41
DF	Distrito Federal	2,42	2,09	–0,33
MG	Belo Horizonte	6,85	6,58	–0,27
PE	Recife	2,38	2,24	–0,14
PB	João Pessoa	0,71	0,65	–0,06
RS	Porto Alegre	2,61	2,55	–0,06
SC	Florianópolis	1,11	1,05	–0,06
PI	Teresina	0,45	0,40	–0,05
AL	Maceió	0,37	0,32	–0,04

Elaboração dos autores.

Para engenheiros mecânicos, químicos, metalurgistas, de materiais, da computação e afins, mais de 70% do aumento do emprego ainda se concentram no Sudeste; enquanto, para categorias mais tradicionais na engenharia, como produção, qualidade e afins; civis e afins; eletricistas, eletrônicos e afins; e mecânicos e afins, a dispersão dos empregos criados entre 2012 e 2023 é maior, e se estende por todo o território, embora mantendo elevada a participação do estado de São Paulo.

Por fim, para outras atividades mais especializadas e ligadas a ramos produtivos específicos, como é o caso de engenheiros de minas, ligados à indústria extrativa, e engenheiros agrimensores, cartógrafos e agrossilvipecuários, ligados à produção agropecuária, é possível notar maior desconcentração na geração de empregos justamente em decorrência da dispersão dessas atividades no país.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo mapeou o uso e a localização territorial da mão de obra de engenharias e produziu uma projeção da sua utilização, a partir de um cenário de crescimento da economia brasileira até 2023, considerando os investimentos previstos no período, bem como o uso setorial e regional de categorias específicas de engenheiros.

Os dados mostram que a concentração regional do emprego em ocupações típicas de engenharia está diretamente relacionada à estrutura produtiva de cada região, tornando heterogêneos os requerimentos por esses profissionais. Tal diversidade combinada à variedade e à localização dos investimentos previstos para a economia brasileira resulta no aumento da demanda de formações específicas em engenharia, principalmente aquelas ligadas à indústria extrativa e a setores tecnológicos, como engenheiros mecânicos e afins; de produção, qualidade, segurança e afins; químicos e afins; eletricistas, eletrônicos e afins; metalurgistas e afins; e de minas e afins.

Os resultados mostram que setores como máquinas, aparelhos e materiais elétricos, e construção (atividades diretamente ligadas à demanda por investimentos) possuem elevados multiplicadores do emprego de engenharias, ou seja, o uso de engenheiros aumenta com a produção dessas atividades, não apenas devido aos requerimentos diretos do próprio setor, mas também às demais conexões produtivas com o restante da economia.

Em termos gerais, as projeções apontam para um crescimento de 3,76% a.a. no uso de engenheiros em todo o país, diante de um cenário de crescimento econômico de 3% a.a. do PIB, com emprego em algumas especialidades (como engenheiros metalurgistas, de materiais e afins e engenheiros de minas e afins) aumentando até 4,17% a.a.

Considerando o número de engenheiros formados por ano (superior a 30 mil desde 2006, segundo Oliveira *et al.*, 2013) e o aumento projetado no uso de engenheiros (próximo a 8 mil em equivalentes homem-hora[14]), não se pode dizer que o país enfrentará escassez de profissionais graduados na área como um todo se o crescimento se mantiver em torno de 3% a.a.[15]

14. Levando-se em conta o crescimento médio anual projetado de 3,76% e o número de trabalhadores empregados em 2012 (228.582), seriam necessários aproximadamente 8.594 novos engenheiros a cada ano.

15. Mesmo considerando as observações de Nascimento *et al.* (2010) de que a cada dois graduados em engenharia trabalhando em ocupações típicas outros cinco estão em diferentes áreas.

No entanto, dois pontos merecem ser destacados: *i)* deve-se contrastar o requerimento e a disponibilidade de tipos específicos de engenheiros, pois pode ocorrer escassez para determinada especialidade, conforme proposto por Boswell, Stiller e Straubhaar (2004); e *ii)* deve-se considerar que cenários de crescimento mais elevado requerem mais profissionais, indo ao encontro da afirmativa de Arrow e Capron (1959) de que os países precisam de mais engenheiros, não apenas para manter o crescimento da produção, mas também para acelerar o crescimento e progredir tecnologicamente.

Dessa forma, um passo adicional para a continuação do estudo seria confrontar as estimativas com os dados de oferta por tipos específicos a partir de informações do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) e do Ministério da Educação (MEC), com o auxílio das metodologias desenvolvidas em Nascimento *et al.* (2010). Tais refinamentos permitem estimações tanto das consequências dos limites da oferta e demanda para o equilíbrio no mercado de trabalho como para o crescimento econômico do país. Desta forma, constituem-se informações relevantes para o planejamento de investimentos na qualificação da força de trabalho no Brasil.

ABSTRACT

The recent economic dynamics of Brazil has increased the demand for skilled labor, especially engineers, raising a number of questions about the shortage of skilled workers. One way to avoid this problem in the future would be to develop a long run planning for engineering formation, based on consistence projections of demand for these specific types of labor. Aiming to support public policies in this subject, this paper applies a detailed simulation methodology for projection of demand and use of engineers in the Brazilian economy. Our methodology takes into account various engineering specialties, a wide range of sectoral and regional data for employment, a macroeconomic scenario and a detailed computable general equilibrium (CGE) model. The results points to which types of engineering would be more necessary in a future scenario for the Brazilian economy.

Keywords: demand projection; engineers; computable general equilibrium.

REFERÊNCIAS

ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Formação e mercado de trabalho**. Boletim eletrônico. 1. ed. Brasília: ABDI, 2012. Disponível em: <http://www.brasilmaior.mdic.gov.br/images/data/201212/e4196555d9f62d9286cccfaf5fd5e133.pdf>. Acesso em: dez. 2012.

ARAÚJO, B. C.; CAVALCANTE, L. R.; ALVES, P. Variáveis *proxy* para os gastos empresariais em inovação com base no pessoal ocupado técnico-científico disponível na Relação Anual de Informações Sociais (Rais). **Radar**. 5. ed. Brasília, dez. 2009.

ARROW, K. J.; CAPRON, W. M. Dynamic shortages and price rises: the engineer-scientist case. **Oxford university press**, v. 73, n. 2, p. 292-308, 1959.

ATKINSON, R. C. Supply and demand for scientists and engineers: a national crisis in the making. **Science**, v. 248, n. 4.954, p. 425-432, 1990.

BLANK, D. M.; STIGLER, G. J. **The demand and supply of scientific personnel**. National Bureau of Economic Research, 1957.

BOSWELL, C.; STILLER, S.; STRAUBHAAR, T. **Forecasting labour and skills shortages**: how can projections better inform labour migration policies? Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities Report, 2004.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Estudo da dimensão territorial para o planejamento**: impactos econômicos da carteira de investimentos. Brasília: MPOG, 2008. v. 6.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Registros administrativos**: Rais e CAGED. Brasília: MTE, 2010.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Relação Anual de Informações Sociais (Rais)**. Brasília: MTE, 2011.

CARVALHO, D. M.; PEREIRA, F. A. A.; OLIVEIRA, V. F. Formação em engenharia no Brasil: distribuição regional de vagas e cursos comparados à população e ao PIB. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 40., Belém-PA, 2012. **Anais**... Belém: Abenge, 2012. Disponível em: <http://www.ufjf.br/observatorioengenharia/files/2012/01/Vanderli-Dayane.pdf>. Acesso em: dez. 2012.

FERRALL, C. Levels of responsibility in jobs and the distribution of earnings among U.S. engineers, 1961-1986. **Industrial and labor relations review**, v. 49, n. 1, p. 150-169, 1995.

FORMIGA, M. M. M. (Org.). **Engenharia para o desenvolvimento**: inovação, sustentabilidade e responsabilidade social como novos paradigmas. Brasília: CNI/SENAI, 2010.

FREEMAN, R. B. A cobweb model of the supply and starting salary of new engineers. **Industrial and labor relations review**, v. 29, n. 2, p. 236-248, 1976.

_____. Does globalization of the scientific/engineering workforce threaten U.S. economic leadership? **Innovation policy and the economy**, v. 6, p. 123-157, 2006.

GIAMBIAGI, F.; PASTORIZA, F. **Modelo de consistência macroeconômica**. BNDES, Área de Planejamento, Departamento Econômico (DEPEC), 1997. (Texto para Discussão, n. 52).

GIBBS, M. Return to skills and personnel management: U.S. Department of defense scientists and engineers. **Economic inquiry**, v. 44, n. 2, p.199-214, 2006.

HENSEN, W. L. The "shortage" of engineers. **The review of economics and statistics**, v. 43, n. 3, p. 251-256, 1961.

INEP – INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Censos da educação superior de 2001 a 2008**. Brasília: INEP, 2001-2008. Disponível em: <http://www.inep.gov.br>. Acesso em: 31 jan. 2011.

MACIENTE, A. N.; ARAÚJO, T. C. A demanda por engenheiros e profissionais afins no mercado de trabalho formal. **Radar**, Brasília, n. 12, fev. 2011.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis**: foundations and extensions. New York: Cambridge University Press, 2009.

NASCIMENTO, P. A. M. M. *et al.* Escassez de engenheiros: realmente um risco? **Radar**, Brasília, n. 6, fev. 2010.

NASCIMENTO, P. A. M. M.; GUSSO, D. A.; MACIENTE, A. N. Breves notas sobre escassez de mão de obra, educação e produtividade do trabalho. **Radar**: tecnologia, produção e comércio exterior, v. 23, p. 7-15, 2012.

OLIVEIRA, V. F. *et al.* Um estudo sobre a expansão na formação em engenharia no Brasil. **Revista de ensino de engenharia**, v. 32, p. 29-44, 2013.

PEREIRA, R. H. M.; ARAÚJO, T. C. Oferta de engenheiros e profissionais afins no Brasil: resultados de projeções iniciais para 2020. **Radar**, Brasília, n. 12, fev. 2011.

POMPERMAYER, F. M. *et al.* Potenciais gargalos e prováveis caminhos de ajustes no mundo do trabalho no Brasil nos próximos anos. **Radar**, Brasília, n. 12, fev. 2011.

RICHARDSON, S. **What is a skill shortage?** National Centre for Vocational Education Research Ltd., Adelaide, 2007.

RYOO, J.; ROSEN, S. The engineering labor market. **Journal of political economy**, v. 112, n. S1, p. S110-S140, 2004 (Papers in honor of Sherwin Rosen: a supplement to volume 112).

(Originais submetidos em julho de 2013. Última versão recebida em junho de 2014. Aprovada em julho de 2014.)

APÊNDICE A

TABELA A.1
Categorias e microrregiões com os maiores quocientes locacionais (QLs)

Categoria	Microrregião	QL
Minas e afins	Parauapebas – PA	68,84
	São Félix do Xingu – PA	42,79
	Itabira – MG	32,00
Químicos e afins	Coari – AM	31,12
	Japaratuba – SE	25,75
	Macaé – RJ	24,26
Computação	Santa Rita do Sapucaí – MG	30,40
	Campinas – SP	10,92
	Recife – PE	2,71
Metalurgistas e afins	Vale do Paraíba – SP	17,61
	Conselheiro Lafaiete – MG	11,91
	Porangatu – GO	11,21
Mecânicos e afins	Macaé – RJ	13,46
	São José dos Campos – SP	12,11
	Coari – AM	10,61
Mecatrônicos	Paracatu – MG	13,01
	Moji das Cruzes – SP	10,21
	Ribeirão Preto – SP	4,51
Agrimensores e cartógrafos	Nhandeara – SP	12,44
	Criciúma – SC	8,88
	Parauapebas – PA	8,45

Fonte: Brasil (2011).
Elaboração dos autores.

ANEXO A

TABELA A.1
Investimentos públicos no cenário 2012-2023

	Petróleo e gás	Refino	Biocombustível	Recursos hídricos	Saneamento	Habitação	Eletricidade	Rodovias	Logística	Telecomunicação	Luz para todos	**Total**	% do total
Rondônia	-	-	-	35	518	501	3.026	1.222	3.178	779	128	**9.258**	0,90
Acre	-	-	-	12	219	251	556	255	-	321	-	**1.613**	0,16
Amazonas	654	-	17	19	1.051	1.775	9.238	637	1.083	1.428	-	**15.900**	1,54
Roraima	-	-	-	60	215	191	1.486	453	-	159	74	**2.563**	0,25
Pará	-	-	93	48	1.377	3.569	21.760	1.285	422	2.897	-	**31.451**	3,05
Amapá	-	-	-	19	213	130	1.022	150	115	280	135	**1.929**	0,19
Tocantins	-	-	-	389	573	686	3.652	108	150	632	385	**6.190**	0,60
Maranhão	557	-	-	252	1.102	4.506	2.692	1.308	840	1.776	330	**13.034**	1,26
Piauí	557	-	117	178	532	1.379	806	382	1.754	1.192	-	**6.898**	0,67
Ceará	9.997	21.966	117	357	1.506	3.544	1.837	888	408	4.015	-	**44.634**	4,33
Rio Grande do Norte	9.997	1.710	-	154	580	1.197	901	10	812	1.694	-	**17.055**	1,65
Paraíba	557	-	50	264	590	1.280	428	131	108	1.687	-	**5.096**	0,49
Pernambuco	8.379	23.023	-	429	1.447	3.574	3.577	307	859	4.719	-	**46.313**	4,49
Alagoas	-	-	-	347	544	1.102	822	175	35	1.542	-	**4.568**	0,44
Sergipe	7.131	-	-	256	491	835	367	101	-	1.089	-	**10.271**	1,00
Bahia	-	1.710	167	1.124	2.665	5.492	4.884	3.861	4.022	6.716	-	**30.641**	2,97

(Continua)

(Continuação)

	Petróleo e gás	Refino	Biocombustível	Recursos hídricos	Saneamento	Habitação	Eletricidade	Rodovias	Logística	Telecomunicação	Luz para todos	**Total**	% do total
Minas Gerais	2.660	1.710	1.417	390	4.385	5.699	2.345	4.941	2.920	13.453	-	**39.921**	3,87
Espírito Santo	33.414	-	-	96	789	1.047	3.439	2.150	2.252	2.344	-	**45.529**	4,41
Rio de Janeiro	235.392	21.406	-	43	3.679	4.849	1.194	1.484	17.485	13.057	-	**298.588**	28,94
São Paulo	167.904	17.379	2.902	459	10.000	12.615	8.389	3.224	19.810	32.149	-	**274.830**	26,64
Paraná	-	1.710	354	28	3.237	2.720	1.984	1.849	845	7.080	-	**19.808**	1,92
Santa Catarina	13.560	-	1	88	2.004	1.502	3.531	1.831	882	4.313	-	**27.710**	2,69
Rio Grande do Sul	2.600	1.710	-	401	3.133	3.075	1.883	1.640	2.956	8.023	-	**25.422**	2,46
Mato Grosso do Sul	3.920	-	1.534	165	766	728	828	57	-	1.543	-	**9.540**	0,92
Mato Grosso	-	-	117	36	814	904	6.020	2.801	4.199	1.769	-	**16.660**	1,61
Goiás	1.140	4.275	1.506	298	2.145	1.839	3.314	1.052	1.365	4.128	-	**21.062**	2,04
Distrito Federal	-	-	-	29	662	1.011	-	983	162	2.471	-	**5.317**	0,52
Total	**498.419**	**96.599**	**8.391**	**5.974**	**45.233**	**66.000**	**89.982**	**33.286**	**66.662**	**121.256**	**1.052**	**1.031.802**	**100,00**
Participação	48,31	9,36	0,81	0,58	4,38	6,40	8,72	3,23	6,46	11,75	0,10	**100,00**	-

Fonte: Brasil (2008).