



Confederação Nacional da Indústria

Prêmio CNI de Economia - 2016

Estimação não-paramétrica da taxa de utilização da capacidade instalada nos setores da indústria de transformação no Brasil

Categoria única: Indústria brasileira

Classificação: 2º LUGAR

Hermelino N de Souza (CAEN/UFC) e Maurício Benegas (CAEN/UFC)

Prêmio CNI de Economia 2016

Estimação Não-Paramétrica da Taxa de Utilização da Capacidade Instalada nos Setores da Indústria de Transformação no Brasil.

Hermelino N de Souza*

Maurício Benegas†

Agosto, 2016.

Resumo

Este trabalho adota o método da Função Distância Direcional e de estimação não paramétrica usando programação linear para estimar a taxa de utilização da capacidade dos setores da indústria de transformação no Brasil. São utilizadas informações contábeis e de produção agregada disponíveis na Pesquisa Industrial Anual (PIA/IBGE), estimativas de estoque de capital derivadas das despesas com investimento, e taxas de depreciação desagregadas também estimadas a partir da estrutura de custos das empresas. Os resultados são avaliados em conjunto à série de utilização de capacidade elaborada pela CNI.

Palavras-chave: Utilização da Capacidade Instalada; DEA Direcional; Indústria de Transformação.

*Mestre em Economia, CAEN/UFC.

†Doutor e Professor em CAEN/UFC.

1 Introdução

Economistas e formuladores de política econômica sempre devotaram especial atenção ao setor industrial em planos de crescimento e desenvolvimento com perspectivas de curto, médio e longo prazos. Naturalmente isso decorre da importância que o setor industrial possui na economia de qualquer país. No Brasil em especial, considerando-se o estágio de desenvolvimento em que se encontra a economia brasileira, a indústria permanece como setor de destaque seja na geração de riqueza, na participação no emprego, na renda do trabalho ou na arrecadação tributária. Acima de tudo, a indústria é a principal promotora de inovações tecnológicas em qualquer país.

Algumas estatísticas simples podem ajudar a compreender a relevância do setor industrial na economia brasileira. Em 2014, por exemplo, o PIB da indústria representou aproximadamente 26% do PIB no Brasil segundo o IBGE, ou seja, de toda riqueza gerada no país aproximadamente 1/4 desta foi diretamente obtida pelas atividades industriais. Naturalmente, não está sendo levado em conta o impacto indireto das atividades industriais nos setores a montante e à jusante em cada um dos segmentos da indústria. Em geral, independente do segmento, o setor industrial possui por sua natureza uma cadeia produtiva extensa, cujos efeitos sobre a geração de riqueza podem ser mais significativos do que o efeito direto.

Ainda em 2014 a indústria foi responsável por 24,3% da alocação do estoque de empregos formais na economia brasileira. Por outro lado, em 2013 o setor industrial foi responsável por 23% na composição da massa salarial no Brasil, segundo o IBGE. Esses dados revelam que, muito embora o setor industrial (sobretudo a indústria de transformação) seja intensivo em capital, e portanto, relativamente mais sensível às inovações tecnológicas poupadoras de mão-de-obra, sua importância na geração de empregos formais e renda do trabalho permanece relevante. Novamente, em se considerando a dinâmica do setor, os efeitos indiretos potencializam essa importância.

Por fim, é interessante apresentar alguns números que podem ajudar a entender a importância da indústria na arrecadação tributária e no processo de inovação tecnológica. Com respeito a arrecadação total no Brasil, a indústria respondeu por 21,5% do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) e 19% do IRPJ (Imposto Sobre a Renda das Pessoas Jurídicas) em 2014. Em adição, a indústria é responsável por toda a arrecadação do IPI não vinculado, além de expressiva participação nas contribuições. Dados objetivos sobre inovações tecnológicas são difíceis de serem obtidos, mas pode-se obter alguma ideia da importância da

indústria no processo inovativo utilizando-se o gasto com inovação como *proxy* razoável. Segundo dados da PINTEC-IBGE (Pesquisa de Inovação) em 2011, dentre os setores pesquisados (Indústria Extrativa, Indústria de Transformação, Eletricidade e Gás e Serviços) os gastos com atividades inovativas na Indústria de Transformação representaram mais de 77% do total.

Em linhas gerais, o êxito ou fracasso de um plano estratégico, seja em nível macro ou microeconômico, depende essencialmente de dois componentes: uma sólida análise custo-benefício e informações. De fato, informação é condição necessária para uma competente análise custo-benefício, de modo que pode-se dizer que a quantidade e a qualidade das informações disponíveis na elaboração de um plano estratégico, são fundamentais para o sucesso do mesmo.

Além da indiscutível importância do conhecimento do setor industrial para fins de planejamento econômico, deve-se destacar a relevância que as informações sobre a indústria possuem para a realização de diagnósticos e prognósticos sobre a situação econômica do país. Nos últimos quinze anos, por exemplo, houve uma profusão de trabalhos acadêmicos com vistas ao desenvolvimento e aplicação de indicadores sobre ciclos econômicos. O uso dos indicadores antecedentes, coincidentes e defasados é hoje padrão em qualquer estudo cujo objetivo seja entender e/ou prever a ocorrência de uma recessão econômica, bem como quantificar suas consequências. Ocorre que, qualquer que seja a metodologia para a construção desses indicadores, informações sobre o setor industrial são utilizados extensivamente.

Entre as inúmeras informações sobre o setor industrial, a Taxa de Utilização da Capacidade Instalada (doravante TUCI) constitui-se num dos indicadores de atividade econômica mais importantes e mais utilizados em todo o mundo. A razão para tal está na conceituação desse indicador e a consequente quantidade de informação que o mesmo sintetiza.

Em princípio, não é necessário um conhecimento profundo sobre as bases conceituais da TUCI para entender que tal medida relaciona o que pode ser produzido com o que é produzido de fato. Embora não exista um consenso sobre as bases conceituais que definem a TUCI, é bem entendido que o uso da capacidade instalada está relacionada à fixidades inerentes a tecnologia utilizada pela atividade em questão. A existência de tais fixidades por seu turno, é um fenômeno que faz sentido somente quando a produção de uma firma ou indústria se restringe a um horizonte de tempo em que não é possível variar todos os insumos livremente sem incorrer em custos muito altos. Valendo-se da terminologia usual da teoria econômica da firma ou indústria, só fazem sentido no curto prazo.

No Brasil, a Confederação Nacional da Indústria (CNI) divulga estimativas mensais de utilização da capacidade baseada em pesquisa direta com as empresas. No entanto, como será apresentado, alguns trabalhos existentes acusam a existência de algumas características não desejáveis implícitas a este método, relativamente a outros, que adotam estimação via dados secundários.

O propósito deste trabalho é apresentar uma metodologia para a estimação da TUCI para uma seleção de 20 (vinte) setores da indústria no Brasil entre os anos de 1996 e 2012. Na metodologia proposta, a tecnologia é modelada utilizando-se o conceito de Função Distância Direcional originalmente introduzida por Chambers, Chung e Färe (1996), os quais basearam-se na função benefício proposta por Luenberger (1992) e na função distância de Shephard (1953). Subsequentemente é utilizado o método de Análise de Envoltória de Dados (DEA) para estimar a fronteira de produção da indústria¹. Uma vez estimada a fronteira, é possível calcular a Eficiência Técnica (ET) de cada setor em cada período. Por fim, as ET's estimadas são utilizadas para o cálculo da TUCI dos setores e períodos selecionados. Até a conclusão deste artigo não foi encontrado nenhum trabalho que utilize a mesma metodologia no Brasil².

No Brasil não existem estatísticas oficiais sobre capital, mas existem informações sobre investimento disponíveis na Pesquisa Industrial Anual (PIA) publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Assim, é utilizado no trabalho o Método do Inventário Perpétuo (MIP) para estimação do estoque de capital em cada ano e para cada setor. Uma dificuldade com a utilização do MIP é a necessidade de se conhecer a taxa de depreciação do capital. Em geral, utilizam-se valores *ad hoc* para depreciação que variam de 7% a 10%, sendo o valor escolhido utilizado para todos os setores selecionados (se este for o caso). Neste trabalho, ao contrário, a taxa de depreciação é estimada para cada setor através de informações sobre os gastos com depreciação que também são informados na PIA/IBGE.

A próxima seção apresenta as principais definições e discussões na literatura a cerca de utilização da capacidade e estimativa da taxa de depreciação, e também apresenta detalhes metodológicos da medida de utilização da capacidade da Confederação Nacional da Indústria. Na Seção 3 são demonstradas as metodologias aplicadas neste trabalho para estimação da taxa de depreciação e TUCI. A Seção 4 descreve a base de dados utilizada, a Seção 5 detalha os

¹ O uso do método DEA para estimar funções distância direcionais é frequentemente referido na literatura como método *Directional DEA* ou Análise de Envoltória de Dados Direcional. Para uma revisão do desenvolvimento da literatura sobre DEA ver Liu et al. (2013)

² Mesmo na literatura internacional, são poucos os trabalhos que aplicam a DDF para o cálculo da TUCI.

principais resultados obtidos, e por fim, conclusões são apresentadas na Seção 6.

2 Aspectos Teóricos

2.1 Economia da Capacidade Instalada

É usual que as firmas operem em nível de produção abaixo do que o estoque de insumos e os equipamentos prontos à operação poderiam produzir. Uma vez que novos investimentos exigem um certo período de maturação para que possam refletir em aumento efetivo da capacidade de produção, a empresa age de forma a sempre manter a capacidade acima da demanda esperada, de forma a absorver choques positivos. Além disso, a natureza dos insumos empregados, em especial do capital, por apresentar característica de indivisibilidade, exige da empresa a contratação de potencial de produção maior do que seria o desejado, o que também lhe propicia ganhos de escala e maior poder de negociação no mercado de insumos.

Questões psicológicas também podem ser determinantes; o empresário está mais propenso a sempre esperar expansões futuras do mercado, fato pela qual prefere ter excesso do que déficit de capacidade. No entanto, operar em situação de excesso de capacidade também representa custos financeiros para a firma; o custo de oportunidade do acréscimo no ativo imobilizado e a depreciação a qual este está sujeito. Por esta razão, o empresário irá preferir por níveis moderados de excesso de capacidade.

Acima de tudo, num horizonte próximo de tempo o ajuste da capacidade ao nível efetivo da demanda costuma representar elevado custo para a firma ou mesmo ser ineficaz por questões legais e burocráticas. Assim, acredita-se que a existência de insumos fixos seja o principal determinante para a existência de capacidade ociosa, principalmente para o setor industrial, por ser mais capital-intensivo, o que faz da capacidade ociosa um fenômeno eminentemente de curto prazo.

Corrado e Matthey (1997) define utilização de capacidade como a razão entre o nível de produto atual e o produto máximo e sustentável que pode ser obtido sob condições normais de produção, considerando a disponibilidade de fatores de produção. Christiano (1981) define como a medida de quão intensamente a economia faz uso dos recursos disponíveis. Já Phillips (1963) descreve a preocupação em medir utilização da capacidade em analogia aos esforços de se obter o nível de desemprego da economia, ambas associadas à subutilização de recursos produtivos.

Como se vê, a taxa de utilização da capacidade instalada (TUCI) tem sido já há bastante tempo discutida na literatura como uma medida de ociosidade dos fatores de produção, e a principal motivação para o seu desenvolvimento consiste em sua implicação no comportamento dos índices de preços da economia.

É bem conhecido que em situações onde a economia opera próximo ao seu limite de capacidade – mantido o patamar de demanda agregada – o ajuste é feito através da elevação dos preços, ocasionando inflação de oferta, até que o investimento possa reequilibrar a capacidade de produção. Alguns autores sustentam que a relação entre TUCI e inflação tem enfraquecido nas últimas décadas devido ao rápido progresso tecnológico e a elevação da participação do comércio internacional nas economias nacionais (ver Corrado e Matthey (1997)). O fato é que esta relação ainda permanece como uma das mais consistentes da literatura econômica, o que se reflete nos sucessivos estudos e prognósticos de conjuntura econômica e de política monetária que utilizam dados de utilização de capacidade. Obviamente que há vários outros fatores também determinantes para os rumos da inflação e da política monetária, variáveis de demanda, por exemplo.

Alves, Correa et al. (2013) estima a trajetória da *non-accelerating inflation rate of capacity utilization* - NAICU, ou seja, a maior TUCI não geradora de inflação (TUCI de equilíbrio), obtendo o valor médio de 80,3% entre 2001 e 2004 e 84% entre 2011 e 2012. No mesmo trabalho os autores definem o hiato da capacidade instalada como a diferença entre a TUCI observada e a NAICU, e admitindo uma economia de apenas dois setores – o setor de bens comercializáveis e de bens não comercializáveis – o trabalho também conclui que o hiato da capacidade instalada é uma variável relevante para explicar a inflação dos bens comercializáveis, ao passo que o hiato da taxa de desemprego é significativa para a inflação de bens não comercializáveis.

Adicionalmente, vários trabalhos tem utilizado séries de TUCI existentes para obter a parcela do estoque de capital efetivamente em uso na economia – *input* da função de produção –, geralmente tomando a TUCI da indústria como aproximação para a taxa de utilização de capital da economia. Filho (2001) e Barroso et al. (2007) são exemplos.

Não obstante, não existe ainda na literatura um claro consenso de qual a melhor maneira de se medir TUCI. As abordagens incluem pesquisa direta e amostral com empresas ou a estimação dos índices a partir de informações de produção e demanda por insumos. Considerando o primeiro grupo, as estatísticas de TUCI utilizadas no Brasil são elaboradas pela Confederação

Nacional da Indústria (CNI) e pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), ambas junto ao setor industrial. Na literatura internacional uma referência clássica é a pesquisa realizada pelo *Bureau of Census*, nos Estados Unidos.

Em relação ao segundo grupo, não se teve informações de estudos que buscassem estimar empiricamente a TUCI para o Brasil até o término deste trabalho. Para os demais países, variadas metodologias tem sido empregadas. Como se viu em discussão anterior, a maneira mais comum de se definir a taxa de utilização da capacidade (TUCI) é através da razão entre um índice de produção corrente Y e um índice de produção potencial Y^* , ou seja, Y/Y^* . É considerando este último aspecto que a literatura internacional de estimação costuma divergir, sendo comum destacar-se duas linhas de pesquisa: uma que estima o produto potencial sob o aspecto estritamente tecnológico e outra que estima sob o aspecto econômico.

Do ponto de vista tecnológico, Johansen (1968) define o produto potencial da firma ou da economia como o máximo de produto que pode ser obtido por período de tempo com a planta e os equipamentos existentes, sem restrição ao uso de insumos variáveis. Esta definição, que adota o conceito de função de produção de curto prazo, é posteriormente formalizada por Färe (1984), que também apresenta as condições necessárias e suficientes para a existência do produto potencial. Sob este aspecto, toda a informação útil é aquela sintetizada na função de produção; a firma é o local onde se combina os fatores para obtenção do máximo produto possível, observada a tecnologia disponível, ignorando aspectos do ambiente econômico a qual está inserida (FEIJÓ, 2006, p. 617).

Em sequência, Fare, Grosskopf e Kokkelenberg (1989) foi o primeiro trabalho a tornar operacional a definição de Johansen, apresentando um método de estimação da TUCI a partir de modelo programação linear atualmente denominado por Análise Envoltória de Dados - DEA, onde a fronteira de produção é estimada de forma não paramétrica utilizando os valores observáveis de produção e demanda por insumos.

Na segunda linha metodológica de estimação da TUCI o produto potencial é calculado ao nível da estrutura de custos da firma, sob o aspecto econômico. Considerando que a plena utilização da capacidade física pode não representar ganho marginal do ponto de vista da maximização do lucro, o produto potencial passa a ser definido como resultado da escolha racional da empresa, havendo assim ao menos três definições: o nível de produto para qual as curvas de custo médio de curto prazo e de longo prazo são tangentes (Klein (1960) e Segerson e

Squires (1990)); o produto que minimiza a curva de custo médio de curto prazo (Cassels (1937); Hickman (1964); Berndt e Morrison (1981)); e por fim, aquela que considera o *gap* entre o produto corrente e o produto potencial (ótimo de curto prazo) (Morrison (1985a) e Morrison (1985b)).

Para Phillips (1963, p. 284), pesquisas diretas possuem a vantagem de poder extrair as informações "com quem as sabe", por outro lado, Christiano (1981, p. 166-176) aponta dificuldades na interpretação dos dados, uma vez que não está claro qual conceito de produto potencial o empresário tem em mente, e os questionários aplicados nem sempre especificam qual deve ser adotado. Para Christiano, mesmo que seja especificado que o produto potencial atende à "padrões normais" de organização da produção, ainda é difícil defini-lo em condições de variados tipos de produtos.

Perry (1973, p. 710-718) analisa a performance de 4 medidas de capacidade da indústria americana e obtém evidências de que medidas baseadas em pesquisa direta tendem a apresentar baixo viés cíclico, ou seja, a TUCI parece não crescer (diminuir) quando o produto cresce (diminui), diferente do observado com os demais métodos de estimação. Ao responder à pesquisa, "os empresários parecem 'encontrar' capacidade, quando o produto aumenta, e 'perdê-las' quando o produto diminui".

Leeuw (1979) utiliza informações do *U.S. Census Bureau* afim de verificar 3 possíveis razões para o viés acíclico notado por Perry nas pesquisas diretas. O autor conclui que o super-registro de "não-variações" na taxa de utilização pode ser um fator explicativo para este comportamento, pois observa que as unidades tendem a repetir o último valor registrado em quantidade substancial de vezes. Além disso, Leeuw considera a possibilidade da empresa tomar a força de trabalho como *proxy* para TUCI, o que levaria a um viés, dadas as flutuações na produtividade do trabalho. Evidências sugeriram que este pode também ser uma fonte de viés acíclico.

Por último, Leeuw avalia prováveis mudanças nas hipóteses de condições normais de operação da empresa, mais especificamente, mudanças no número de horas por dia e dias por semana que o empresário baseia sua noção de capacidade, relativamente às fases de alta e baixa produção. Mas as evidências sinalizam este como um fator não significativo.

Conforme já apontado, há outras razões que levam a firma a operar com capacidade ociosa, além da existência de fixidades. A abordagem tecnológica, geralmente fundamentada na definição de Johansen, não capta esses efeitos, que no entanto não escapam aos valores reportados

às pesquisas diretas. Isso implica que níveis de utilização provenientes dessas pesquisas tendem a apresentar taxas menores de utilização da capacidade quando comparado à abordagem tenológica. Esses argumentos são mais explorados por Christiano (1981, p. 173-174).

2.2 Utilização da Capacidade Instalada - CNI

No Brasil, a Confederação Nacional da Indústria (CNI) realiza em frequência mensal estimativas de Utilização da Capacidade Instalada dos setores industriais, através de pesquisa direta com as empresas.

No desenho amostral, onde 12 estados participam, compõem a pesquisa os setores industriais que juntos perpassam ao menos 70% do valor da transformação industrial (VTI) ou 50% da população ocupada (PO) da indústria do estado, numa lista em que constam ordenados dos setores mais representativos para os menos representativos. Definidos os setores em cada estado, o número de unidades pesquisadas em cada setor daquele estado é determinado de maneira que participem com ao menos 60% do VTI ou 40% da PO no respectivo setor industrial do estado, com firmas também previamente ordenadas das mais representativas para as menos representativas.

Na pesquisa, a empresa é solicitada a declarar qual a é parcela da capacidade de produção operacional utilizada em condições normais de funcionamento no mês de referência. Fica a critério da empresa a escolha da metodologia de cálculo. Os percentuais são agregados em duas etapas, na primeira é obtida a média dos setores em cada estado, através da média dos percentuais de utilização reportados por cada unidade local, ponderada pela razão entre o número de horas trabalhadas na produção da empresa e o total de horas trabalhadas em todas as empresas do setor no estado.

Na segunda etapa, o percentual médio de cada setor é obtido através da média dos percentuais estaduais, ponderados pela número de pessoal ocupado.

$$TUCI_s^t = \sum_{e=1}^n TUCI_{s,e}^t W_{s,e}.$$

Onde $TUCI_{s,e}^t$ é a taxa de utilização no setor de atividade s do estado e , para o mês de referência t ; e $W_{s,e}$ é o peso do estado e no setor s , tomado como sua participação na População Ocupada do setor s , considerando-se apenas os estados da amostra.

2.3 Depreciação do Capital

Para estimação do estoque líquido de capital através do Método de Inventariado Perpétuo faz-se primeiramente necessário a determinação da maneira como o capital se deprecia ao longo do tempo. Fonseca e Mendes (2002) estimam a taxa de depreciação do capital da indústria no Brasil utilizando o estoque de ativo imobilizado dos Censos Industriais de 1975, 1980 e 1985 como aproximação para o estoque de capital, juntamente ao fluxo de investimento líquido, por meio do *Polynomial-Benchmark Method-PBM*, proposto por Nishimizu (1974). Os resultados apontam uma taxa de depreciação média de 13,21% no período 1975-1980 e 15,27% no período 1980-1985.

Em outros trabalhos a taxa de depreciação é calculada estabelecendo hipóteses sobre o tempo de vida média dos tipos de ativos, juntamente à uma função de mortalidade. No Brasil, Hofman (2000) adota tempo de vida de 50 anos para residências, 40 anos para estruturas metálicas e 15 anos para máquinas e equipamentos, valores semelhantes aos adotados pelo *U.S. Bureau of Economic Analysis (BEA)*³, e taxas de depreciação linear. Morandi, Reis et al. (2004) segue a mesma linha, mas usando 20 anos para máquinas e equipamentos e depreciação geométrica, e também Marquetti (2009), que usa 50 anos para construção residencial e não residencial e 14 anos para máquinas e equipamentos.

Neste trabalho é estimado a taxa de depreciação para o capital de cada setor da indústria de transformação no Brasil, a partir de um modelo em que a taxa de depreciação e o estoque de capital são estimados simultaneamente; o capital físico, cuja dinâmica de formação é idêntica ao proposto pelo Método de Inventariado Perpétuo (MIP); e a taxa de depreciação, definida com a média de uma série de valores que consistem na razão entre as despesas com depreciação e o valor do estoque de capital físico.

3 Metodologia

3.1 Taxa de Depreciação e Estoque de Capital

Esta seção apresentada a metodologia de cálculo do estoque de capital da indústria pelo Método de Inventariado Perpétuo (MIP)⁴, juntamente à estimativa da taxa de depreciação. Seja

³ Ver Katz e Herman (1997).

⁴ Goldsmith (1951) foi o pioneiro, desde então o método tem sido extensivamente utilizado pela literatura na estimação do capital físico.

x_t o gasto com depreciação de um dado setor da indústria no período t e K_t o seu estoque de capital em t , a taxa de depreciação δ é a solução da equação:

$$x_t = \delta K_t \quad (1)$$

Admite-se ainda que o estoque de capital em cada período t será o estoque de capital líquido do período anterior, adicionado do volume de investimentos do último período. Formalmente,

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_{t-1} \quad (2)$$

Resolvendo 2, o estoque de capital K_t pode ser expresso em função do estoque de capital inicial K_0 , do fluxo de investimentos e da taxa de depreciação, na forma de;

$$K_t = (1 - \delta)^t K_0 + \sum_{j=1}^t (1 - \delta)^{j-1} I_{t-j} \quad (3)$$

Admitindo que o investimento cresce a taxa do progresso tecnológico g e do crescimento populacional n , ou seja, $I_{t+1} = (1 + n)(1 + g)I_t$, obtêm-se que o capital inicial relaciona-se com o investimento inicial a maneira de⁵

$$K_0 = \frac{I_0}{g + n + ng + \delta}, \quad (4)$$

onde a taxa g do crescimento tecnológico é obtida a partir da hipótese de que o produto comporta-se como o AR(1) determinístico $Y_{t+1} = (1 + g)Y_t$, e o investimento inicial é estimado usando a média de investimento dos primeiros cinco anos da amostra⁶;

$$\frac{I_0}{L_1} = \frac{1}{5} \left(\frac{I_1}{L_1} + \frac{I_2}{(1 + g)L_2} + \frac{I_3}{(1 + g)^2 L_3} + \frac{I_4}{(1 + g)^3 L_4} + \frac{I_5}{(1 + g)^4 L_5} \right),$$

sendo L_t a população economicamente ativa em t .

Assim, usando 3 e 4, a equação do capital é expressa por

$$K_t = \frac{(1 - \delta)^t I_0}{g + n + ng + \delta} + \sum_{j=1}^t (1 - \delta)^{j-1} I_{t-j}. \quad (5)$$

Para estimar a taxa de depreciação δ , usa-se 1 em 5, para obter

$$x_t = \frac{\delta(1 - \delta)^t I_0}{g + n + ng + \delta} + \sum_{j=1}^t \delta(1 - \delta)^{j-1} I_{t-j},$$

⁵ A demonstração pode ser conferida no apêndice de Ferreira et al. (2010).

⁶ Ferreira et al. (2010) e Bonzaninit, Souza e Melo (2013) também usam esse instrumento.

a partir de então, fazendo $\theta = n + g + ng$, é possível mostrar que

$$\begin{aligned}
x_1 &= \left(\frac{1 + \theta}{\theta + \tilde{\delta}_1} \right) \tilde{\delta}_1 I_0 \\
x_2 &= \left(\frac{1 + \theta}{\theta + \tilde{\delta}_2} \right) (1 - \tilde{\delta}_2) \tilde{\delta}_2 I_0 + \tilde{\delta}_2 I_1 \\
x_3 &= \left(\frac{1 + \theta}{\theta + \tilde{\delta}_3} \right) (1 - \tilde{\delta}_3)^2 \tilde{\delta}_3 I_0 + (1 - \tilde{\delta}_3) \tilde{\delta}_3 I_1 + \tilde{\delta}_3 I_2 \\
&\vdots \\
x_T &= \left(\frac{1 + \theta}{\theta + \tilde{\delta}_T} \right) (1 - \tilde{\delta}_T)^{T-1} \tilde{\delta}_T I_0 + (1 - \tilde{\delta}_T)^{T-2} \tilde{\delta}_T I_1 + \cdots + \tilde{\delta}_T I_{T-1}
\end{aligned}$$

onde $\tilde{\delta}_t$ é solução de cada correspondente equação acima. Finalmente, este trabalho propõe a seguinte estimativa da taxa de depreciação:

$$\tilde{\delta} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \tilde{\delta}_t. \quad (6)$$

Portanto, a equação definitiva para cálculo do estoque de capital em cada setor da indústria no período t é dada como

$$K_t = \frac{(1 - \tilde{\delta})^t I_0}{g + n + ng + \tilde{\delta}} + \sum_{j=1}^t (1 - \tilde{\delta})^{j-1} I_{t-j}. \quad (7)$$

3.2 TUCI a partir da Função Distância Direcional

Esta seção apresenta como a TUCI é estimada usando o conceito da função distância direcional introduzida por Chambers, Chung e Färe (1996), e que generaliza Farrell (1957) e Shephard (1970). Seja $x \in \mathbb{R}_+^m$ o vetor de insumos e $y \in \mathbb{R}_+^n$ o vetor de produtos ou *outputs*, o conjunto T dos planos de produção factíveis, definidos pelas restrições impostas pela tecnologia, é dado por

$$T = \{(x, y) \in \mathbb{R}_+^{m \times n} \mid x \text{ pode produzir } y\}. \quad (8)$$

Se x_f é o subvetor de insumos fixos e x_v o subvetor de insumos variáveis, admitindo o caso de um único produto ($n = 1$), pode-se definir a fronteira de produção por

$$F(x) = \sup\{y \mid (x, y) \in T\}.$$

Neste caso, a TUCI pode ser expressa como:

$$TUCI = \frac{F(x_f, x_v)}{\hat{F}(x_f)}, \quad (9)$$

onde $\hat{F}(x_f) = \sup\{F(x) \mid x_v \geq 0 \text{ é livre}\}$, seguindo a definição dada por Johansen (1968, p. 50). A taxa de utilização da capacidade relaciona o nível máximo de produção passível de obtenção a

partir do vetor quantidade de insumos (x_f, x_v) , com a produção ótima num cenário em que é possível ajustar a quantidade dos insumos variáveis x_v .

Seja a função distância orientada ao produto dada por

$$D_o(x_f, x_v, y) = \frac{y}{F(x_f, x_v)},$$

neste caso, a relação em (9) pode ser escrita como

$$TUCI = \frac{\hat{D}_o(x_f, y)}{D_o(x_f, x_v, y)}.$$

Em um cenário multi-produto a função distância costuma ser escrita na forma de expansão radial do vetor produto, ou seja:

$$D_o(x, y) = \inf\{\theta \in \mathbb{R}_+^* \mid (x, y/\theta) \in T\}.$$

Outra formulação possível é adotar uma expansão aditiva linear de y na direção de um vetor g_y , da forma $D_o(x, y) = \sup\{\beta \mid (x, y + \beta g_y) \in T\}$, denominada função distância direcional. Assim, quanto maior o valor β^* que soluciona $D_o(x, y)$ maior a situação de ineficiência produtiva a qual opera a firma. Adicionalmente, é possível que os insumos estejam sendo empregados em excesso, por esta razão a função distância direcional empregada engloba simultaneamente uma expansão do produto e uma retração do insumo. Assim:

$$\begin{aligned} D_T(x, y; g_x, g_y) &= \sup\{\beta \mid (x - \beta g_x, y + \beta g_y) \in T\} \\ \hat{D}_T(x_f, x_v, y; g_{x_f}, g_y) &= \sup\{\beta \mid (x_f - \beta g_{x_f}, x_v, y + \beta g_y) \in T, x_v \geq 0\}. \end{aligned}$$

Seja β^* solução ótima para $D_T(\cdot)$ e (x, y) um plano factível de produção, ou seja, $(x, y) \in T$. A função distância direcional projeta (x, y) no ponto $(x - \beta^* g_x, y + \beta^* g_y)$ pertencente à fronteira do conjunto T , e na direção do vetor (g_x, g_y) .

Seguindo Färe e Grosskopf (2000), é possível mostrar que a partir dos conceitos mostrados acima, a TUCI é dada pela expressão⁷

$$TUCI_{DIR} = \frac{D_T(x, y; g_x, g_y) + 1}{\hat{D}_T(x_f, x_v, y; g_{x_f}, g_y) + 1}, \quad (10)$$

onde o subscrito DIR é incluído com o propósito de identificar o método de estimação.

⁷ Note que é possível derivar a função distância orientada pelo produto através de valores específicos de g_x e g_{x_f} (zero em ambos), portanto, esta definição generaliza a definição de Johansen para capacidade.

Finalmente, a $TUCI_{DIR}$ é estimada através da estrutura de programação linear DEA Direcional, no qual o conjunto tecnológico é dado por

$$T = \{(x, y) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m \mid \lambda X \leq x, \lambda Y \geq y, \lambda \geq 0, \lambda \in \mathbb{R}^k\},$$

onde $X_{k \times n}$ é a matriz de insumos e $Y_{k \times m}$ a matriz de produtos. As desigualdades invertidas satisfazem as restrições aos objetivos de minimização dos insumos e maximização do produto. A função distância direcional pode então ser estimada por:

$$\begin{aligned} D_T(x, y; g_x, g_y) &= \max_{\lambda, \beta} \beta \\ \text{s.a. : } \lambda X &\leq x - \beta g_x \\ \lambda Y &\geq y + \beta g_y \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned}$$

com $\lambda \in \mathbb{R}^k$ e $\beta \in \mathbb{R}$. Uma opção simples e comumente usada é adotar $(g_x, g_y) = (x, y)$, assim, a direção da expansão de y rumo a fronteira de eficiência tecnológica será a mesma direção original, e a direção de retração de x será a mesma de $-x$.

4 Base de Dados

São utilizadas estatísticas de despesa e produção agregada de 20 setores da indústria de transformação no Brasil. No modelo DEA Direcional adota-se como medida de produto o valor da transformação industrial (VTI)⁸. Como insumos, cinco variáveis são utilizadas:

1. Capital – estimado conforme a Seção 3.1, a partir de estatísticas de despesas com depreciação e o investimento realizado, este obtido através de informações sobre aquisições, melhorias e baixas;
2. Trabalho – gasto total de pessoal;
3. Matéria-prima – compra de matérias-primas, materiais auxiliares e componentes;
4. Energia – compra de energia elétrica e consumo de combustíveis;
5. Manutenção – consumo de peças, acessórios e pequenas ferramentas.

⁸ Dado pela diferença entre valor bruto da produção industrial e o custo das operações industriais (custos ligados diretamente à produção industrial).

As séries são deflacionadas pelo Deflator Implícito do PIB Industrial⁹ e todas expressas relativamente ao montante de pessoal ocupado¹⁰. Também são submetidas ao procedimento proposto por Wilson (1993), que visa identificar *outliers* em problemas de estimação não paramétrica de fronteira de eficiência. Os resultados são significativos para a existência de um *outlier* superior na amostra adotada; o setor petrolífero, o que deve ser considerado nos resultados que seguem.

5 Resultados

Diferente de grande parte literatura, a metodologia de estimação da depreciação adotada não demanda nenhuma hipótese inicial sobre vida útil e função de mortalidade dos ativos. As taxas são estimadas ano-a-ano a partir somente de estatísticas observadas e uma média final é tomada para ajustar-se à constatação prática de que a taxa de depreciação costuma ter baixa volatilidade intertemporal.

No entanto, os resultados mostram fortes indícios de superestimação, certamente por razão de a série utilizada incluir também resultados financeiros e de participação societária. Assim, optou-se por realizar um ajuste que pudesse minimizar o viés de alta das estimativas¹¹. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para cada setor da indústria.

Importante ressaltar que a maior parte da literatura que trabalha com estimação de depreciação aborda o tema no contexto do capital de toda a economia. Sendo a indústria um setor tradicionalmente pioneiro em alta tecnologia, é de se esperar que o estoque de capital da indústria seja mais intensivo em máquinas e equipamentos do que o estoque de capital dos demais setores, e portanto apresente taxas maiores de depreciação (conforme evidencia a literatura apontada na Seção 2.3, máquinas e equipamentos possuem depreciação mais acelerada).

⁹ IBGE, Sistema de Contas Nacionais 2000.

¹⁰ PIA/IBGE.

¹¹ Na Equação 6, escolheu-se incorporar um fator de redução baseado na dispersão observada. Assim, seja σ_s o desvio-padrão da série de depreciação estimada para o setor s , a taxa de depreciação de s passa a ser $\tilde{\delta}_s = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \tilde{\delta}_{s,t} - \sigma_s$. Esse ajuste é feito com o propósito de minimizar possíveis superestimações do gasto com depreciação visando eventuais reduções no pagamento do IRPJ.

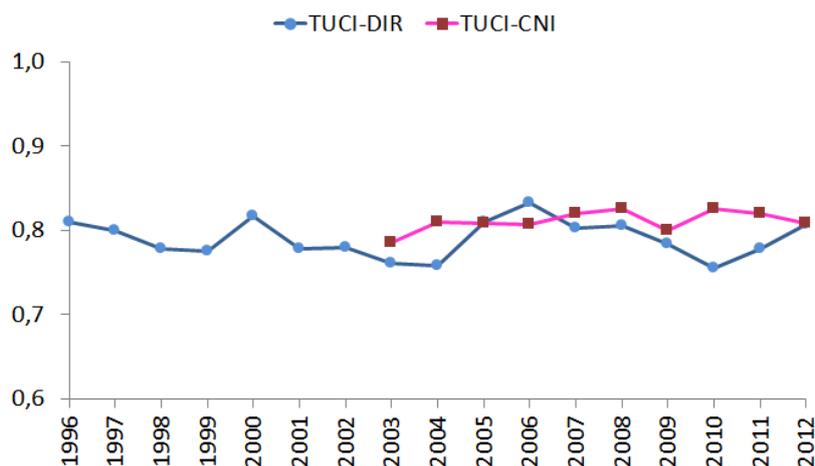
Tabela 1 – Taxa de depreciação do capital, por segmento da Indústria de Transformação no Brasil, 1996-2012.

Setor	Valor
Madeira	0,223
Veículos	0,210
Metalurgia	0,168
Móveis e Diversos	0,164
Minerais Não-metálicos	0,158
Têxtil	0,157
Papel e Celulose	0,155
Refinaria	0,153
Fumo	0,144
Vestuário	0,137
Transporte	0,134
Máquinas e Equipamentos	0,131
Materiais Elétricos	0,122
Produtos Químicos	0,122
Alimentos e Bebidas	0,108
Borracha e Plástico	0,105
Produtos de Metal	0,102
Artigos de Couro	0,093
Informática	0,088
Edição	0,060

Fonte: Elaboração própria.

Em relação à TUCI, a metodologia empregada estima a taxa de utilização admitindo a definição dada por Johansen no contexto de capacidade tecnológica de produção, e incorporando eficiência técnica maximizadora de produto e minimizadora de insumos. Os resultados para o agregado da indústria de transformação podem ser visto na Figura 1 (TUCI-DIR)¹², onde também é apresentada a série de Utilização de Capacidade obtida pela CNI (doravante TUCI-CNI)¹³.

Figura 1 – TUCI da Indústria de Transformação no Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

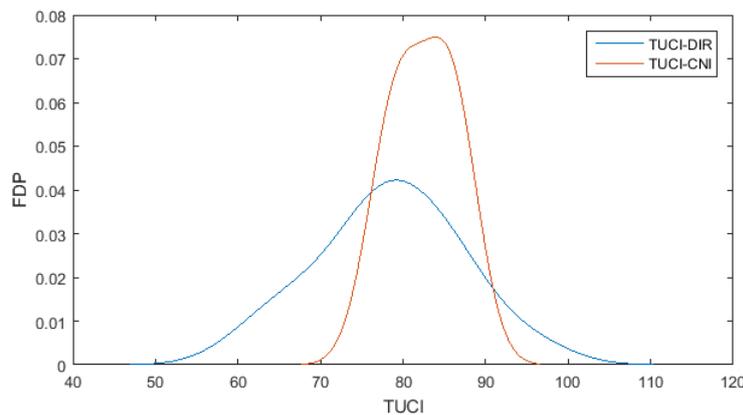
Conforme mencionado anteriormente, medidas baseadas em pesquisa direta tem se caracterizado pela baixa amplitude cíclica, relativamente a outros tipos de medidas. Essa fato

¹² Foi utilizado como peso a participação do setor no montante de pessoal ocupado.

¹³ Foi adotada a média das taxas mensais como índice anual.

também é corroborado pelas medidas apresentadas, o indicador TUCI-CNI é significativamente menos suscetível à variação de ciclos econômicos do que a medida TUCI-DIR. A Figura 2 exibe as funções densidades de probabilidade dos dois indicadores e possibilita constatar que a estimativa TUCI-DIR tem distribuição mais dispersa e média levemente menor do que a medida TUCI-CNI.

Figura 2 – TUCI - Função Densidade de Probabilidade.



Fonte: Elaboração própria.

Na análise setorial, as medidas TUCI-DIR tem relevante variabilidade, alguns setores apresentam taxa de utilização média expressivamente maior que outros, tal como Vestuário (95,7%), em contraponto ao setor Impressão (61,6%), o que faz desses setores também representativos do *gap* existente com a TUCI-CNI, em consequência da baixa amplitude cíclica verificada nesta medida.

Observando-se os valores de desvio-padrão em cada setor, prevalece mais uma vez dispersão maior dos valores TUCI-DIR, relativamente à dispersão da TUCI-CNI, em quase a totalidade dos setores verificados. Assim, em todos os aspectos verificados as estimativas CNI mostram-se mais homogêneas e inerciais.

Uma vez que a inflexibilidade a curto prazo do estoque de capital físico é normalmente aceita como uma das principais razões para a existência de capacidade ociosa na indústria, é fundamental que uma medida de utilização de capacidade seja sensível e negativamente relacionada ao volume de capital empregado no processo de produção. Firms com alta dependência de capital são propensas a operar com maior ociosidade produtiva.

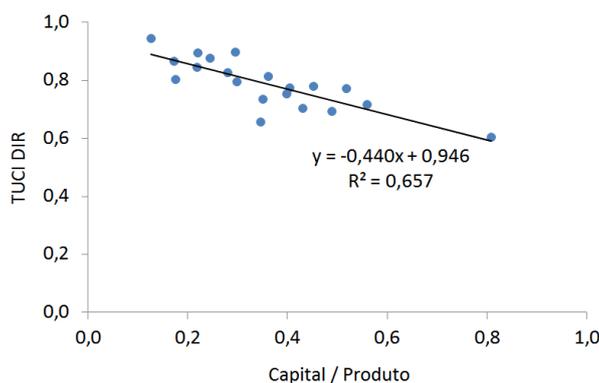
Tabela 2 – Estatísticas descritivas TUCI-DIR e TUCI-CNI - 2003-2012. ($\times 100$)

Setor	TUCI-DIR				TUCI-CNI				Diferença das médias
	Média	DP	Mín	Máx	Média	DP	Mín	Máx	
Vestuário	95,7	7,5	80,7	100,0	81,5	1,1	79,7	83,0	14,2
Materiais Elétricos	88,9	2,5	85,4	93,0	79,9	1,9	75,9	82,9	9,0
Móveis e Diversos	85,7	4,9	76,8	91,7	77,7	2,9	72,8	82,1	8,0
Veículos	86,9	3,6	81,6	91,8	86,0	2,2	83,0	89,2	0,8
Produtos Químicos	78,4	3,4	73,0	84,4	77,7	3,0	74,6	83,7	0,7
Madeira	84,5	12,2	69,5	100,0	84,5	1,9	81,6	86,8	0,1
Alimentos e Bebidas	75,6	2,9	71,1	80,7	76,1	1,6	72,6	78,1	-0,4
Produtos de Metal	79,0	3,3	74,6	84,9	79,7	2,3	75,4	82,8	-0,7
Borracha e Plástico	77,4	3,1	72,3	80,9	80,7	2,2	75,7	83,8	-3,4
Têxtil	80,5	2,8	75,3	85,8	84,5	1,3	82,0	86,4	-4,1
Transporte	83,4	4,6	76,3	88,5	88,3	2,4	84,1	90,9	-4,8
Artigos de Couro	79,7	4,0	72,5	85,6	86,0	2,2	82,4	89,4	-6,3
Minerais Não-Metálicos	73,4	4,5	67,8	81,7	84,0	1,7	80,9	86,3	-10,6
Metalurgia	75,6	3,8	68,8	81,7	86,6	5,1	73,5	91,4	-11,0
Máquinas e Equipamentos	67,2	2,4	63,2	70,7	80,3	2,0	76,6	83,1	-13,0
Papel e Celulose	71,1	2,8	67,7	75,6	87,8	1,6	83,6	89,6	-16,7
Impressão	61,6	3,4	57,1	67,5	78,7	3,6	70,4	84,0	-17,2
Petróleo	65,6	7,2	56,8	75,2	85,0	2,9	80,3	90,6	-19,5

Fonte: Elaboração própria.

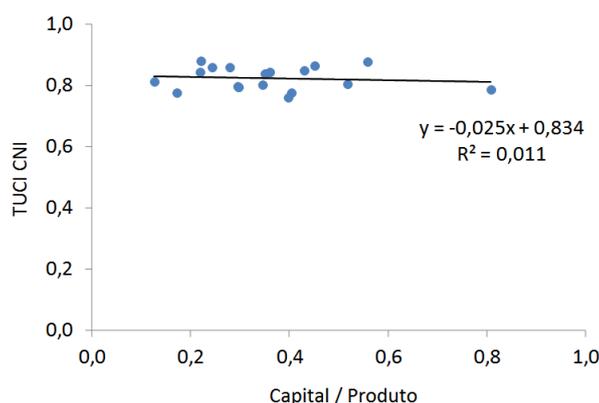
Nas Figuras 3 e 4, as estimativas de TUCI são apresentadas paralelamente às respectivas participações médias do capital no produto, a partir da qual uma linha de tendência é traçada, através de um modelo de Mínimos Quadrados Ordinários. Os resultados apontam forte correlação para a TUCI-DIR, com R^2 de 65,7%, mas baixa correlação quando se trata da TUCI-CNI, com apenas 1,1%. Este fato ilustra o que já podia ser inicialmente observado na Figura 1; a TUCI-CNI tem baixo grau de variabilidade no tempo, quando se observa o agregado para a indústria de transformação, e também quando se avalia o índice setorial, paralelamente à participação do capital na produção.

Figura 3 – TUCI-DIR e a participação do capital no produto



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 – TUCI-CNI e a participação do capital no produto



Fonte: Elaboração própria.

Neste último caso, o setor de impressão, cuja participação do capital é de cerca de 80,8%, tem TUCI-CNI de 78,7%; vestuário, cuja relação capital produto é a menor, 12,6%, tem TUCI-CNI de 81,5%. Longe de ser apenas um caso isolado, setores com as mais distintas participações de capital tem apresentado taxas de utilização CNI muito próximas, o que aparenta um contra senso com a literatura de utilização da capacidade.

6 Conclusão

Este trabalho utiliza informações de valor da produção e da estrutura de custos das indústrias do país, fornecidas pela Pesquisa Industrial Anual (PIA/IBGE), e estima o estoque de capital dos setores da indústria de transformação a fim de obter a Taxa de Utilização da Capacidade Instalada através da metodologia não-paramétrica DEA Direcional. As taxas de depreciação estimadas para os setores da indústria apresentam significativa variação intersetorial, no entanto, apresentam possível viés de superestimação. Verificou-se também que os valores reportados pela pesquisa direta TUCI-CNI tem menor amplitude cíclica que a medida TUCI-DIR, conforme era esperado na literatura. Também verifica-se relação inversa entre os valores estimados e a participação do capital no produto dos setores industriais, com alta significância. De maneira que setores mais intensivos em capital foram mais suscetíveis a baixos índices de utilização da capacidade, condizente com o efeito teórico da existência de fixidades de capital na TUCI, e esse fato se sobressai ainda mais quando comparado à medida TUCI-CNI, cujos índices não apresentam relevante correlação com a relação capital/produto. Embora as estimativas TUCI obtidas demandem por análises adicionais de sensibilidade e de viés de estimação, estes resultados reforçam a necessidade de um olhar mais parcimonioso sobre o emprego de pesquisas diretas

como estimativas de utilização de capacidade, e a importância de se melhorar a acurácia dessas estimativas para o Brasil.

Referências

- ALVES, S. A. L.; CORREA, A. da S. et al. *Um Conto de Três Hiatos: Desemprego, Utilização da Capacidade Instalada da Indústria e Produto*. [S.l.], 2013. Citado na página 6.
- BARROSO, R. et al. Produto potencial: conceitos, novas estimativas e considerações sobre sua aplicabilidade. *Revista Economia*, v. 8, 2007. Citado na página 6.
- BERNDT, E. R.; MORRISON, C. J. Capacity utilization measures: underlying economic theory and an alternative approach. *The American Economic Review*, JSTOR, v. 71, n. 2, p. 48–52, 1981. Citado na página 8.
- BONZANINI, A. F.; SOUZA, E. C. d.; MELO, L. Fdi, licensing, e crescimento da produtividade total de fatores. *Revista Brasileira de Economia*, SciELO Brasil, v. 67, n. 1, p. 25–43, 2013. Citado na página 11.
- CASSELLS, J. M. Excess capacity and monopolistic competition. *The Quarterly Journal of Economics*, JSTOR, p. 426–443, 1937. Citado na página 8.
- CHAMBERS, R. G.; CHUNG, Y.; FÄRE, R. Benefit and distance functions. *Journal of economic theory*, Elsevier, v. 70, n. 2, p. 407–419, 1996. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 12.
- CHRISTIANO, L. J. A survey of measures of capacity utilization. *Staff Papers*, Springer, v. 28, n. 1, p. 144–198, 1981. Citado 3 vezes nas páginas 5, 8 e 9.
- CORRADO, C.; MATTEY, J. Capacity utilization. *The Journal of Economic Perspectives*, JSTOR, v. 11, n. 1, p. 151–167, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 6.
- FÄRE, R. The existence of plant capacity. *International Economic Review*, JSTOR, v. 25, n. 1, p. 209–213, 1984. Citado na página 7.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. Theory and application of directional distance functions. *Journal of productivity analysis*, Springer, v. 13, n. 2, p. 93–103, 2000. Citado na página 13.
- FARE, R.; GROSSKOPF, S.; KOKKELENBERG, E. C. Measuring plant capacity, utilization and technical change: a nonparametric approach. *International Economic Review*, JSTOR, p. 655–666, 1989. Citado na página 7.
- FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, JSTOR, v. 120, n. 3, p. 253–290, 1957. Citado na página 12.
- FEIJÓ, C. A. A medida de utilização de capacidade: conceitos e metodologias. *Revista de Economia Contemporânea*, v. 10, n. 3, p. 611–629, 2006. Citado na página 7.
- FERREIRA, P. C. et al. The effects of external and internal shocks on total factor productivity. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, Elsevier, v. 50, n. 3, p. 298–309, 2010. Citado na página 11.
- FILHO, T. N. T. da S. *Estimando o produto potencial brasileiro: uma abordagem de função de produção*. [S.l.]: IPEA, Diretoria de Estudos Macroeconômicos, 2001. Citado na página 6.

- FONSECA, R.; MENDES, T. C. M. *Produtividade do capital na indústria brasileira*. [S.l.]: CNI, Confederação Nacional da Indústria, 2002. Citado na página 10.
- GOLDSMITH, R. W. A perpetual inventory of national wealth. In: *Studies in Income and Wealth, Volume 14*. [S.l.]: NBER, 1951. p. 5–73. Citado na página 10.
- HICKMAN, B. G. On a new method of capacity estimation. *Journal of the American Statistical Association*, Taylor & Francis Group, v. 59, n. 306, p. 529–549, 1964. Citado na página 8.
- HOFMAN, A. A. Standardised capital stock estimates in latin america: a 1950-94 update. *Cambridge Journal of Economics*, CPES, v. 24, n. 1, p. 45–86, 2000. Citado na página 10.
- JOHANSEN, L. Production functions and the concept of capacity. *Recherches récentes sur la fonction de production, Collection, Economie mathématique et économétrie*, v. 2, p. 52, 1968. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 12.
- KATZ, A. J.; HERMAN, S. W. Improved estimates of fixed reproducible tangible wealth. *Survey of Current Business*, v. 77, n. 5, p. 69–92, 1997. Citado na página 10.
- KLEIN, L. R. Some theoretical issues in the measurement of capacity. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, JSTOR, p. 272–286, 1960. Citado na página 7.
- LEEUEW, F. d. Why capacity utilization estimates differ. *Survey of Current Business*, Bureau of Economic Analysis, v. 59, n. 5, p. 45–55, 1979. Citado na página 8.
- LIU, J. S. et al. A survey of dea applications. *Omega*, Elsevier, v. 41, n. 5, p. 893–902, 2013. Citado na página 4.
- LUENBERGER, D. G. Benefit functions and duality. *Journal of mathematical economics*, Elsevier, v. 21, n. 5, p. 461–481, 1992. Citado na página 4.
- MARQUETTI, A. A. Estimativa do estoque de riqueza tangível no brasil, 1950-1998. *Nova Economia*, v. 10, n. 2, 2009. Citado na página 10.
- MORANDI, L.; REIS, E. et al. Estoque de capital fixo no brasil, 1950-2002. *Anais do XXXII Encontro Nacional de Economia*, v. 42, 2004. Citado na página 10.
- MORRISON, C. J. On the economic interpretation and measurement of optimal capacity utilization with anticipatory expectations. *The Review of Economic Studies*, Oxford University Press, v. 52, n. 2, p. 295–309, 1985. Citado na página 8.
- MORRISON, C. J. Primal and dual capacity utilization: an application to productivity measurement in the us automobile industry. *Journal of Business & Economic Statistics*, Taylor & Francis, v. 3, n. 4, p. 312–324, 1985. Citado na página 8.
- NISHIMIZU, M. *Total factor productivity analysis: a disaggregated study of the post war japanese economy*. Ph.D. Dissertation., 1974. Citado na página 10.
- PERRY, G. L. Capacity in manufacturing. *Brookings Papers on Economic Activity*, JSTOR, v. 51, n. 3, p. 701–742, 1973. Citado na página 8.
- PHILLIPS, A. An appraisal of measures of capacity. *The American Economic Review*, JSTOR, v. 53, n. 2, p. 275–292, 1963. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 8.
- SEGERSON, K.; SQUIRES, D. On the measurement of economic capacity utilization for multi-product industries. *Journal of Econometrics*, Elsevier, v. 44, n. 3, p. 347–361, 1990. Citado na página 8.

SHEPHARD, R. W. *Cost and production functions*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 1953. v. 194. Citado na página 4.

SHEPHARD, R. W. *Theory of cost and production functions*. Princeton University Press, 1970. Citado na página 12.

WILSON, P. W. Detecting outliers in deterministic nonparametric frontier models with multiple outputs. *Journal of Business & Economic Statistics*, Taylor & Francis, v. 11, n. 3, p. 319–323, 1993. Citado na página 15.