



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GET/09

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO -14 – GET**

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DA GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA- GET**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA DO BRASIL E OS GANHOS DE PRODUTIVIDADE**

**Edson Szyszka \***  
**CEPEL**

**RESUMO**

No ranking mundial de competitividade de 2016 do IMD (*International Institute for Management Development*), o Brasil ficou em penúltimo lugar em produtividade. Para reverter este quadro, será necessário impulsionar a competitividade e a produtividade do parque industrial brasileiro através do aumento da inovação tecnológica, do aumento da eficiência técnica de produção e do uso eficiente da energia.

Neste artigo, sob a perspectiva do Tomador de Decisão da Indústria, são pesquisadas as formas de impulsionar o “Negócio Eficiência Energética”, a partir do seu potencial de alavancar o aumento da competitividade e da produtividade na indústria brasileira.

**PALAVRAS-CHAVE**

Eficiência Energética na Indústria. Produtividade. Brasil.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Quanto aos objetivos deste artigo, o primeiro é mostrar como os Projetos de Eficiência Energética podem ser utilizados pela indústria na busca por maior competitividade, seja através da redução do consumo específico de energia nos seus processos, ou pelo aumento da produtividade consequente dessas ações. O segundo objetivo é descrever as dificuldades encontradas para o desenvolvimento de Projetos de EE na indústria brasileira, e apresentar proposições que possam efetivamente ajudar a eliminar estas barreiras.

**2.0 - CENÁRIO ATUAL**

**2.1 Potencial econômico da Eficiência Energética**

Nos últimos anos a Eficiência Energética (EE) passou a ser observada pelo mercado de forma mais cuidadosa devido ao seu potencial econômico como combustível oculto. Nos países membros da IEA (International Energy Agency), entre os anos de 1974-2010, a energia total recuperada por ações de EE foi maior que a energia total comprada de qualquer outra fonte, incluindo petróleo, gás, carvão e eletricidade (BISHOP, 2015, p. 4). Há a previsão de que os investimentos em EE terão uma elevação exponencial nos próximos anos, e que estes investimentos podem impulsionar um crescimento econômico mundial de US\$ 18 Trilhões até 2035. A IEA estima que para cada US\$1.00 economizado com ações de EE, US\$2.50 são gerados em outros benefícios (BISHOP, 2015).

(\*) CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL  
CEP 21.944-970 – Rio de Janeiro – RJ, Tel.: (21) 2598-6287, CEL (21) 98134-9971  
e-mail : szyszka@cepel.br

## 2.2 Potencial econômico da Eficiência Energética na Indústria

Pelo Cenário apresentado pela IEA (INTERNATIONAL..., 2014a, p. 139-140), a projeção dos investimentos em Eficiência Energética até 2035 atingirão US\$8 Trilhões, que deverão ser partilhados da seguinte forma:

- a. Setor de transportes - 62% - Como resultado de investimentos em novas tecnologias mais eficientes e de novas regras de consumo que deverão ser aplicadas a uma enorme quantidade de veículos;
- b. Setor de edificações - 29% - Os investimentos neste setor deverão ser focados no aumento da eficiência dos sistemas de aquecimento e de refrigeração dos edifícios;
- c. Setor industrial - 9% - A maioria dos investimentos na indústria deverá ter como objetivo final o aumento da eficiência em fornos, sistemas de vapor e motores.

O modelo de financiamento mais comum para Projetos de Eficiência Energética para todos os setores é o Autofinanciamento. A previsão da IEA (INTERNATIONAL..., 2014a, p. 154) mostra que aproximadamente 60% do total dos investimentos em EE até 2020 virão do método de Autofinanciamento. Deduz-se da previsão da IEA que se 60% dos investimentos futuros em EE na indústria serão realizados com o capital próprio, então há a suposição implícita de que os tomadores de decisão dessas indústrias tenham a percepção do retorno desses investimentos, e que efetivamente os façam<sup>1</sup>. A previsão de que 60% dos investimentos em EE deverão ser realizados com o capital da própria indústria pode ser compreendida pela análise efetuada anteriormente no próprio relatório (INTERNATIONAL..., 2014b, p. 148-14), onde é mostrado que os ganhos dos investimentos nas áreas de transporte e edificações são mais intuitivos e de fácil medição, porém o relatório da IEA não adverte que o empresário industrial tem um cenário mais complexo para analisar e que necessita de medições mais detalhadas para efetivamente optar pelo uso do seu fluxo de caixa em investimentos em EE.

## 3.0 - DESAFIOS IDENTIFICADOS

### 3.1 Case Brazil, China, India – World Bank, Financing Energy Efficiency: lessons from Brazil, China, India

Entre os anos de 2002-2006 o Banco Mundial patrocinou um programa para analisar os obstáculos que impediam a exploração do potencial de economia em EE em três países em ascensão no cenário mundial, o Brasil, a China e a Índia. Estes esforços foram concentrados nos seguintes tópicos:

- a. Abrir as portas dos bancos comerciais para Projetos de EE.
- b. Suporte técnico para o desenvolvimento de Energy service companies (ESCOs) nesses países.
- c. Garantir recursos para o financiamento de investimentos em EE.
- d. Criar financiamentos de capital para as ESCOs ou Projetos de EE.

Quanto à viabilidade econômica dos projetos em EE, o relatório alerta que o principal desafio para os financiadores será sempre confiar na capacidade do analista do investimento em realizar uma boa avaliação do retorno financeiro, e é claro que o investidor prefere fazer esta análise especializada com “gente da casa”. Como é difícil para os investidores desenvolverem sua própria equipe de especialistas técnicos, a busca por garantias físicas sobre os seus investimentos é a solução óbvia. Buscando minimizar este obstáculo para a formação de ESCOs no Brasil, o Banco Mundial propõe que sejam formados avaliadores independentes com o propósito de auxiliarem o BNDES e os bancos comerciais.

O relatório conclui que no Brasil algumas ESCOs maiores tiraram proveito dos investimentos em EE através do PEE-ANEEL<sup>2</sup>, porém estes investimentos não contribuíram para que novas ESCOs surgissem, tivessem capacidade de se desenvolver, e de se tornarem aptas a obter financiamentos bancários na rede comercial.

As análises dos cases Brasil, Índia e China mostram que os êxitos alcançados nos modelos de financiamento, precisam de um apoio contínuo nos seus primeiros anos. Na China, por exemplo, o sucesso dos métodos de empréstimos pelo mercado para as ESCOs, foi o resultado de aproximadamente oito anos do esforço persistente de um programa do governo.

Como estratégia de gestão, o Banco Mundial recomenda que o Brasil repense a forma de enxergar seus programas, pois embora as ações de EE para a energia elétrica e para os combustíveis fósseis sejam bem administradas isoladamente pelo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) e pelo CONPET (Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural), essas distinções são artificiais e prejudiciais para o melhor gerenciamento do “Negócio Eficiência Energética”.

### 3.2 Barreiras - Paineis da International Energy Agency (IEA)

O relatório World Energy Outlook 2012 da IEA identifica uma série de barreiras (INTERNATIONAL..., 2012, p. 280) que impedem a exploração do potencial de Eficiência Energética:

- a. Visibilidade: Há dificuldades para medir os resultados de Projetos de EE, e mesmo quando são medidos,

<sup>1</sup> No Capítulo III vemos que há desafios para a execução de investimentos em eficiência energética na indústria, destacando-se a falta de visibilidade dos seus benefícios pelos tomadores de decisão.

<sup>2</sup> Principalmente as ESCOs constituídas pelas distribuidoras de energia para o atender a Lei 9.991/00 (LEI, 2000).

esses resultados raramente são apresentados de forma correta para o tomador de decisão.

- b. Priorização: Não há uma cultura formada sobre o valor da EE, e como os seus investimentos são julgados juntos com outros investimentos tradicionais, esses projetos não são priorizados.
- c. Economia: As linhas de financiamento não são apropriadas para investimentos em EE.
- d. Dificuldade de medição: Há sérias dificuldades para medir e avaliar ao longo do tempo os Projetos de EE.
- e. Fragmentação: O consumo de energia costuma ser fragmentado entre diversos usuários finais, o que induz à adoção de modelos de negócios focados no fornecimento da energia.

A principal barreira identificada para os Projetos de EE na indústria foi a falta de visibilidade dos seus benefícios pelo tomador de decisão, as medições desses projetos não permitem avaliar economicamente seus ganhos de forma clara, prejudicando a priorização desses investimentos quando eles competem com outros mais tradicionais. Quanto às barreiras financeiras para a realização de investimentos, vários obstáculos foram listados no Balanço de Atividades de 2014 (INTERNATIONAL..., 2014a, p. 150-151) relativos aos 29 países membros da IEA, e neste relatório é apresentado um painel com um resumo das análises dessas barreiras:

- a. Os Projetos de EE são investimentos de redução de custos - Projetos de EE não produzem ativos imediatos e sim uma expectativa futura de redução de custos.
- b. Os Projetos de EE são normalmente fragmentados, compostos de muitas ações pequenas, acarretando um custo transacional alto porque envolvem muitos projetos de pequena escala.
- c. Diversidade técnicas dos projetos - As ações de EE têm uma grande abrangência que alcança todas as áreas da planta, utilizando diferentes disciplinas, tecnologias e parceiros.
- d. Projetos de EE necessitam de um sistema de medição eficiente e versátil - O sistema de medição deve ser eficaz e confiável para medir as constantes mudanças no perfil de consumo de energia, principalmente se o investimento for remunerado pela economia da energia consumida.
- e. Conflitos de interesses - Vários incentivos em ações de EE não beneficiam diretamente o investidor e sim o usuário final. O investidor busca maximizar seu lucro e pode não estar preocupado com os custos operacionais de um projeto que no futuro estará a cargo de terceiros.

### 3.3 Barreiras – Cases analisados pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL)

Desde o início dos anos 90 o CEPEL colabora com os programas de conservação de energia do PROCEL, assim como outros programas em parceria com Federações de Indústrias<sup>3</sup> e Empresas do Setor Elétrico<sup>4</sup>. Nos diagnósticos realizados pelo CEPEL foi constatado que os tomadores de decisão das indústrias têm restrições para a aprovação de investimentos em EE, mesmo que os retornos financeiros previstos sejam mais atrativos que outros investimentos. Na Figura 1, é mostrado o payback simples estimado pelos Diagnósticos de Eficiência Energética em 18 indústrias de grande porte. O payback simples médio foi de apenas 13,2 meses.

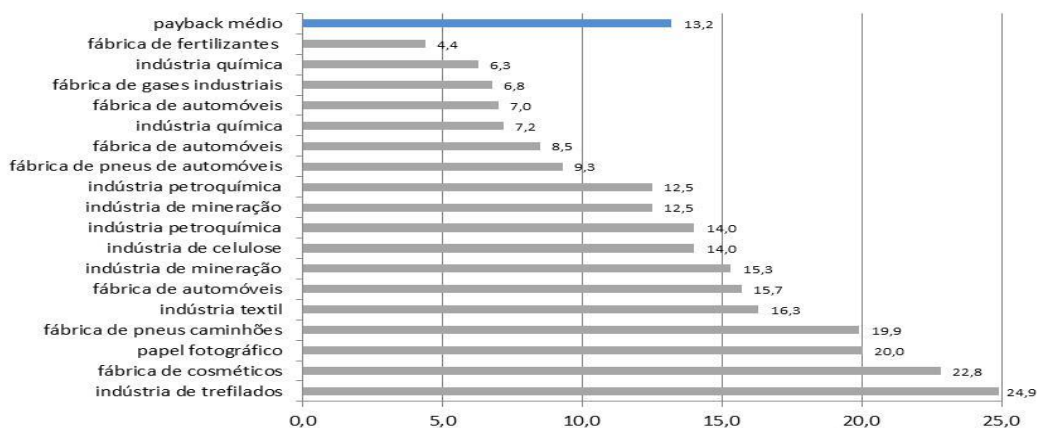


FIGURA 1 – Payback: diagnósticos de eficiência energética em 18 indústrias ((Fonte: Relatórios de diagnósticos energéticos realizados pelo CEPEL em 18 grandes indústrias entre 2007-2011).

Pelo que vem sendo observado na indústria brasileira, o tema EE ainda não faz parte do dia a dia da maioria dos seus tomadores de decisão porque existe a percepção de que há sempre investimentos mais prioritários, as exceções que encontramos foram os projetos de substituição de sistemas industriais ou de grandes equipamentos, por outros mais eficientes; essas modernizações encontram mais espaço para serem aprovadas, porque são normalmente focadas em somente 1 equipamento ou sistema, e vêm acompanhadas de financiamento externo via contratos de performance. Estes projetos são geralmente desenvolvidos por ESCOs de fornecedores de equipamentos como parte do seu processo de comercialização, e nestes casos, para que sejam evitados conflitos

<sup>3</sup> Diagnósticos de EE em Indústrias participantes do programa de Formação de Multiplicadores do Procel.

<sup>4</sup> Diagnósticos de EE em Indústrias em convênio entre o CEPEL e a TRACTEBEL ENERGIA, no âmbito do Programa de Fidelização de Grandes Clientes.

de interesses é recomendado pelo World Bank, que os contratos de performance firmados com os fornecedores de equipamentos sejam submetidos a uma segunda avaliação técnica/econômica isenta – Financing Energy Efficiency (THE WORLD BANK, 2008, p. 94).

#### 4.0 - PROGRAMAS DE AUMENTO DA PRODUTIVIDADE NA INDÚSTRIA

##### 4.1 Os Programas de Melhoria Contínua

O esforço de aumento da produtividade nas indústrias implica na melhoria contínua dos seus processos. Nas últimas décadas surgiram diversos programas para atender este objetivo: TPM (*Total productive maintenance*), TQM (*Total quality management*), Kaizen (mudar para melhor), Lean Production (redução de desperdícios), Six Sigma (redução de custos), entre outros.

Há muitas similaridades entre esses programas, assim como há uma complementaridade de todos eles com as Ações de Eficiência Energética. Esta convergência não causa surpresa porque essas ações são basicamente boas práticas (*best practices*) aplicadas no consumo eficiente de energia, e todos esses Programas de Melhoria Contínua têm como objetivo principal disseminar boas práticas para o aumento da eficiência e da produtividade.

##### 4.2 Medição dos Programas de Melhoria Contínua

A partir da década de 80 houve uma discussão intensa sobre como medir o desempenho desses programas, pois os indicadores utilizados eram baseados no retorno sobre os investimentos e nas análises dos custos, e esses indicadores eram inadequados para os novos programas. Diversos pesquisadores desenvolveram métodos para a medição da eficiência desses programas, tais como: Lynch R.L. e Cross, K.F. (*"Measure Up!"*, 1991), Banker, R.D., Neely, A.D., Charnes, A.; Cooper, W.W. e Rhodes, E. (*"Measuring efficiency of decision-making units"*, 1978), Charnes, A. e Cooper, W.W. (*"Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis"*, 1984), Gregory, M. e Platts, K. (*"Performance measurement system design: a literature review and research agenda"*, 1995), Eccles, R.G. (*"The performance measurement manifesto"*, 1991), e Kaplan, R.S. e Norton, D.P., (*"The balanced scorecard"*, 1992). Nos estudos publicados que abordam essas dificuldades há uma convergência sobre quais seriam os objetivos que esta medição precisaria atender:

- a. Ter foco na melhoria contínua;
- b. Ser derivado de uma estratégia;
- c. Que seja simples de entender;
- d. Usar dados de entrada confiáveis que possam ser controlados pelo usuário;
- e. Ter facilidade de ser entendido por todos;
- f. Fornecer feedback útil e preciso.

Dentre os pesquisadores que se envolveram com este desafio, destaca-se William W. Cooper, que em parceria com os pesquisadores Abraham Charnes e Edwardo L. Rhodes, desenvolveram um método de medição que utiliza dados de entrada não paramétricos para avaliar o desempenho de Programas de Melhoria Contínua através das múltiplas entradas de insumos e de saída de produtos (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978).

##### 4.3 Similaridades entre Ações de Eficiência Energética e Programas de Melhoria Contínua

Como a lógica das ações de Eficiência Energética e dos programas de melhoria contínua são baseadas em aplicações de boas práticas para o aumento da eficiência dos processos, várias similaridades podem ser encontradas entre suas ações. Na Tabela 1 são apresentadas algumas dessas similaridades, sendo acrescentada uma coluna relativa ao comportamento de ações pontuais de Inovação Tecnológica, que também influenciam na eficiência dos processos.

Nas similaridades mostradas na Tabela 1, verifica-se que muitas ações de EE têm características comuns aos Programas de Melhoria Contínua, assim como algumas dessas ações de EE apresentam similaridades com Inovações ou Avanços Tecnológicos.

Ao longo do tempo a expressão "Eficiência energética" se consolidou como uma marca poderosa, e por conta disso, passou a ter atributos próprios que são explorados pelo mercado como uma promessa implícita de maior eficiência. As ações na indústria que efetivamente são voltadas para o aumento de EE são as ações que utilizam as boas práticas de engenharia (*best practices*), e têm características próximas dos Programas de Melhoria Contínua. Outras ações da indústria dirigidas à busca da Inovação ou Avanço Tecnológico, atualmente também são chamadas de Ações de Eficiência Energética, porém suas características são típicas de investimentos em modernização de sistemas ou equipamentos. Na Tabela 2 são dados exemplos dessas interpretações das Ações de aumento de eficiência na indústria.

Pela análise das Tabelas 1 e 2 é proposto neste artigo, que para a área industrial, o termo Projetos de Eficiência Energética seja aplicado somente aos projetos com características de ações de boas práticas de engenharia. Para as ações de substituição de sistemas completos ou de grandes equipamentos por outros mais modernos e mais eficientes, propõe-se o uso do termo Projetos de Modernização.

TABELA 1 – Similaridades entre Ações de EE e Programas de Melhoria Contínua (Fonte: do Autor-2015)

Similaridades	Ações de eficiência energética	Programas de melhoria contínua	Inovação tecnológica
Impacto	Pequenos impactos	Pequenos impactos	Grande impacto
Avaliação do resultado	Difícil de avaliar	Difícil de avaliar	Pontual e fácil de avaliar
Persistência dos efeitos	1-Curto prazo 2-Duradoura	Duradoura	1-Curto prazo 2-Duradoura
Mudanças observadas	1- Repentina 2- Gradual e constante	Gradual e constante	Repentina
Medição dos índices	Difícil	Difícil	Fácil
Envolvimento	Todos	Todos	Esforço individual
Investimento	Baixo	Baixo	Alto
Esforço	Grande esforço para fazer e manter	Grande esforço para fazer e manter	Grande esforço para fazer e pouco para manter
Foco	1-Pessoas 2-Equipamento	1-Pessoas 2-Equipamento	Equipamento
Evolução dos efeitos	1- Incremental 2- Instantânea	Incremental	Instantânea
Participação	Poucos da área técnica e gerência	Todos	Poucos da área técnica e gerência
Vantagem	Crescimento contínuo	Crescimento contínuo	Crescimento rápido

TABELA 2 - Ações de aumento de eficiência na indústria. (Fonte: do Autor-2015)

Ações de aumento de eficiência na indústria	Ação de eficiência energética <i>best-practices</i> .	Modernização ou avanço tecnológico
Eliminação de vazamentos na rede de ar-comprimido	x	
Troca do sistema completo de ar-comprimido		x
Substituição de todos os motores elétricos de baixa tensão por motores de alto rendimento		x
Instalação de um economizador na caldeira	x	
Troca da caldeira por outra de maior rendimento		x
Manutenção dos equipamentos da linha de produção , volta a valores de projeto	x	
Adequação das bombas do sistema de resfriamento de água industrial, troca de rotores	x	
Limpeza dos trocadores de calor dos sistemas de resfriamento	x	
Implementação de projeto de cogeração		x
Manutenção dos enchimentos das torres de resfriamento	x	
Instalação de purgadores automáticos nas linhas de vapor	x	
Ajuste da relação ar/combustível na queima da caldeira	x	
Trocas dos equipamentos de uma linha de produção completa		x

A proposta de separar esses projetos que hoje são igualmente identificadas como “Projetos de Eficiência Energética” apresenta as seguintes vantagens:

- Permite dimensionar o investimento de forma separada, incluindo as grandes diferenças entre as linhas de financiamento e de análise dos custos transacionais.
- As estratégias internas de aplicação dessas ações são diferentes, os projetos pulverizados de EE podem ser delegados a níveis operacionais mais baixos.
- Os índices de medição dos investimentos em projetos de Modernização são pontuais e fáceis de serem obtidos através da instalação de sensores facilitando os financiamentos por contratos de *performance*.
- Não há restrições para que os Projetos de Eficiência Energética *best practices* possam se tornar partes dos Programas de Melhoria Contínua, e assim poderem fazer parte da estrutura já existente destes programas.
- Ao incluir os Projetos de Eficiência Energética *best practices* em programas já estruturados de melhoria Contínua há um aumento da visibilidade desses projetos pelo tomador de decisão.
- A adição dos Projetos de Eficiência Energética nos Programas de Melhoria Contínua permite avaliar a influência dessas ações no aumento de produtividade da Planta através do Índice de Eficiência Técnica de Malmquist (MALMQUIST, 1998).
- O mesmo se aplica aos investimentos de Modernização que tenham características de Avanço Tecnológico. Esta separação permite avaliar separadamente a influência destes investimentos no aumento da produtividade através do Índice de Avanço Tecnológico de Malmquist (MALMQUIST, 1998).

## 5.0 - PRODUTIVIDADE NA INDÚSTRIA

Como visto o uso de índices funcionais para correlacionar os investimentos em EE aos ganhos de economia de energia, assim como aos ganhos com o aumento da produtividade, apresenta diversos problemas; porém esses ganhos podem ser monitorados com maior eficácia através dos índices de controle obtidos de dados não paramétricos. Nos itens subsequentes serão apresentados de forma bastante resumida, alguns conceitos relativos à medição da produtividade que serão utilizados para a medição dos ganhos dos Projetos de EE.

### 5.1 O conceito de fronteira

Este conceito estima qual a fronteira de produção máxima que poderia ser obtida para um conjunto de *inputs*, ou de forma semelhante, qual seria a fronteira do custo mínimo suportado para uma produção fixa. Aplicando este conceito de máximos e mínimos, indica-se como fronteira máxima o local onde não é possível encontrar nenhum ponto acima (no caso das funções de produção e lucro), e como fronteira mínima o local onde não é possível encontrar nenhum ponto abaixo (no caso da função custo).

### 5.2 Decision Making Unit (DMU)

Para a medição da produtividade de uma linha de produção isolada, ou mesmo de toda a indústria, a primeira providência é definir qual será o objeto da análise; uma unidade que participa das decisões relativas à produção ou negociação de seus produtos e serviços é definida conceitualmente como sendo uma *Decision Making Unit* ou DMU, pode-se definir uma DMU como um turno de trabalho, uma linha de produção, uma indústria, ou um conjunto de indústrias de um setor. O mais importante é que as DMUs tenham capacidade própria e individual de tomarem decisões que melhorem sua eficiência e produtividade.

### 5.3 DEA - Data Envelopment Analysis

Para o acompanhamento da produtividade, uma opção aos índices funcionais é a metodologia proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), DEA - *Data Envelopment Analysis*. Este método avalia a eficiência da produção através de um único indicador, podendo ainda utilizar múltiplas entradas de insumos e múltiplas saídas de produtos. O conceito de DEA não faz nenhuma suposição funcional, o método simplesmente estima o máximo que poderia ser produzido em uma DMU através da comparação com DMUs mais produtivas. Na Figura 3, vemos que se a DMU mostrada quiser tornar-se mais eficiente reduzindo seus insumos ela precisa caminhar para o ponto B, se preferir tornar-se mais eficiente aumentando sua produção precisa caminhar para o ponto C. Se a opção for diminuir os insumos. A eficiência da DMU é definida pelo quociente AB/AD; se o objetivo for maximizar a produção a eficiência é dada por ED/ED, em ambos os casos a eficiência da DMU é definida por um valor entre 0 e 1 (mais próximo de 1 » mais eficiente).

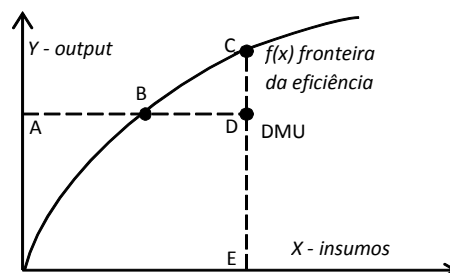


FIGURA 3 – Fronteira da eficiência, Fonte: do Autor (2015)

O método DEA permite determinar a eficiência de uma unidade produtiva (DMU) comparativamente às demais através dos seus *inputs* e *outputs*, porém cada DMU tem “pesos” próprios na distribuição dos seus insumos ou *inputs*, assim como tem “pesos” para a sua produção ou *outputs*.

*Output* -  $Y = u_1 y_1 + u_2 y_2 + u_3 y_3 + \dots + u_s y_s$

Onde  $y_1, y_2, \dots, y_s$  são os *outputs* (produtos) e  $u_1, u_2, \dots, u_s$  são os pesos de cada um dos  $s$  *outputs*.

*Input* -  $X = v_1 x_1 + v_2 x_2 + \dots + v_m x_m$

Onde  $x_1, x_2, \dots, x_m$  são os *inputs* (insumos) e  $v_1, v_2, \dots, v_m$  são os pesos de cada um dos  $m$  *inputs*.

A Produtividade de uma DMU é definida como:

$$P = \frac{Y}{X} = \frac{u_1 y_1 + u_2 y_2 + \dots + u_s y_s}{v_1 x_1 + v_2 x_2 + \dots + v_m x_m}$$

O método DEA estabelece que através de simulação por programação linear, cada DMU tentará escolher os pesos mais apropriados para maximizar sua própria produtividade. Após esta primeira simulação os pesos escolhidos por cada DMU são impostos a todas as outras  $k$  DMUs, e a DMU que obtiver o maior índice de eficiência ( $=1,00$ ) será usada como benchmark para as demais. A DMU mais eficiente passou no teste para se tornar um benchmark por ter alcançado uma produtividade maior que as demais utilizando as “armas” das rivais, ou seja, os pesos que seriam os mais favoráveis para maximizar a produtividade de cada uma das outras  $k$  DMUs.

### 5.4 Índice de Malmquist

O Índice de Malmquist (MALMQUIST, 1998) foi criado em 1953 pelo estatístico e economista sueco Sten Malmquist, e é amplamente utilizado para acompanhar a evolução da produtividade de uma unidade de produção (DMU) através da função distância à fronteira de produção. O valor do índice de Malmquist, superior, igual ou inferior à unidade, indica o crescimento, a estagnação ou declínio da produtividade.

A definição do conceito de fronteira de produção indica que para cada período  $t = 1, 2, \dots, T$ , a produção seja representada pelo seguinte conjunto:

$S^t = \{(x^t, y^t) : x^t \text{ possa produzir } y^t\}$ , onde  $x^t \in R_+^m$  é um vetor que representa os fatores de produção, e  $y^t \in R_+^n$  é um vetor de produtos.

Os conjuntos de vetores que representariam os fatores de produção seriam:

$D_0^t(x^t, y^t) = \inf\{\theta \in R_+^m : (x^t, y^t/\theta) \in S^t\}$ , onde  $\theta$  é um vetor de constantes.

Esta função mede a variação factível do vetor de produção  $y^t$ , para os dados de entrada do vetor  $x^t$ .

Se  $D_0^t(x^t, y^t) < 1$ , então  $(x^t, y^t)$  é ineficiente, e se  $D_0^t(x^t, y^t) = 1$ ,  $(x^t, y^t)$  está na fronteira tecnológica e portanto será eficiente.

Calculando a função distância para 2 períodos distintos  $t$  e  $t+1$ , tem-se:

$$D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}) = \inf\{\theta \in R_+^m : (x^{t+1}, y^{t+1}/\theta) \in S^t\} \quad (1), \text{ e}$$

$$D_0^{t+1}(x^t, y^t) = \inf\{\theta \in R_+^m : (x^t, y^t/\theta) \in S^{t+1}\} \quad (2)$$

Na equação 1 é calculada qual seria a variação do produto em  $t+1$  para tornar  $(x^{t+1}, y^{t+1})$  possível com a tecnologia existente em  $t$ .

O índice de produtividade de Malmquist é definido como:

$$M_0(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \times \left[ \left( \frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \left( \frac{D_0^t(x^t, y^t)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \right]^{1/2} \quad (3)$$

(EFCH<sup>t+1</sup>) (TECH<sup>t+1</sup>)

Fonte: (MALMQUIST, 1998)

São muitos os fatores que influenciam na produtividade de uma DMU. Alguns são externos, como as taxas de câmbio e as flutuações de demanda, outros internos, como a modernização de equipamentos, os programas de treinamento ou a redução de perdas. O índice de Malmquist possibilita acompanhar a produtividade ao longo de um período, separando a parte devida a evolução da Eficiência Técnica dos Processos (EFCH) da parte correspondente ao Avanço Tecnológico (TECH), conforme mostrado na Equação 3.

### 5.5 Índice de Malmquist, Produtividade e Eficiência Energética

O índice de Malmquist é uma ferramenta de planejamento utilizada para definir políticas estratégicas em todos muitos países do mundo, e seu uso fornece dados setoriais da indústria relativos à produtividade advinda dos avanços da Eficiência Técnica dos Processos e dos Avanços Tecnológicos. Através desses dados setoriais é possível formular políticas públicas mais eficazes para a alocação ótima de recursos ou incentivos setoriais.

Nas indústrias, o índice de Malmquist e o método de DEA vêm sendo utilizados em diferentes setores, por exemplo: Hjalmarsson e Veiderpass (1992) examinaram a produtividade no crescimento na distribuição de energia elétrica na Suécia ao longo de 17 anos, Boyd e Pang (2000) analisaram a EE da indústria do vidro dos EUA usando métodos DEA/Malmquist, Kulshreshtha e Parikh (2002) estudaram a eficiência e produtividade da mineração de carvão na Índia, Zhou e Ang (2008) utilizaram para medir a performance de EE de 21 países membros da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), entre outros. Dentre muitos trabalhos, o mais pertinente para validar a eficácia de Projetos de EE no aumento da produtividade industrial foi o realizado por Han et al. (2014) em 14 setores industriais da China entre os anos de 1999 e 2008. O estudo comparou o avanço de produtividade desses setores através da Eficiência Técnica dos Processos (EFCH) e do Avanço Tecnológico (TECH) de Malmquist, utilizando um Modelo Orientado para uma Entrada de Energia. O artigo mostra quais foram os setores indústrias que ficaram mais longe da fronteira de eficiência, e serviriam de base para o governo estabelecer políticas de Eficiência Energética focadas nesses setores.

## 6.0 - CONCLUSÕES E PROPOSIÇÕES

### 6.1 Indústria

As proposições para a indústria visam remover os 2 (dois) principais obstáculos aos Projetos de EE: a falta de visibilidade pelo tomador de decisão e a baixa confiabilidade da medição dos ganhos desses projetos.

A primeira proposição implica em dividir os Projetos de EE na indústria em 2 tipos distintos e nomeá-los como:

- Projetos de Eficiência Energética de Modernização: definidos como a simples troca de equipamentos por outros mais modernos e mais eficientes (ex: grandes fornos, sistemas de compressores, etc.).
- Projetos de Eficiência Energética Best practices, que podem ser definidos simplesmente como “aplicação de boas práticas da engenharia”.

Com esta separação haverá maior facilidade para a realização das análises técnicas, mais objetividade nas priorizações dos investimentos, e maior facilidade de mensuração dos seus ganhos. A seguir são apresentadas algumas diferenças das características e das formas de análises técnico/econômicas desses projetos:

- a. Para os Projetos de Modernização o tomador de decisão precisa ter uma equipe de engenharia interna capacitada para analisar as propostas de ESCOs de fornecedores de equipamentos, ou contar com avaliadores externos de sua confiança devido ao possível conflito de interesses existente.
- b. As medições dos ganhos dos Projetos de Modernizações são fáceis de serem avaliadas porque esses projetos são focados em trocas de grandes equipamentos que podem ter os seus desempenhos monitorados individualmente com a instalação de uma medição local.
- c. Para os Projetos de EE *best practices* a indústria não costuma necessitar de financiamentos externos, porém faltam no país ESCOs de especialistas multidisciplinares para dar à indústria o suporte técnico necessário a esses projetos.
- d. Os Projetos de EE *best practices* são pulverizados pelas áreas e tem pouca visibilidade. Propõe-se que eles passem a fazer parte dos programas de melhoria contínua, já existentes na maioria das indústrias brasileiras. A visibilidade dos projetos aumentaria porque esses programas são estruturados para que comitês internos analisem propostas pulverizadas por todas as áreas da Planta, encaminhando as propostas já estruturadas ao tomador de decisão através de um *Sponsor* qualificado.
- e. Ao contrário dos Projetos de Modernizações, a medição individual dos ganhos dos Projetos de EE *Best practices* é onerosa e difícil de ser realizada. Com esses projetos incorporados aos programas de melhoria contínua, eles teriam seus ganhos medidos em conjunto com os índices de avaliação desses programas, com a vantagem de poderem agregar os ganhos de economia de energia ao aumento da produtividade.

## 6.2 BNDES / ESCOs

O PROESCO (atualmente “BNDES Eficiência Energética”) passou por algumas mudanças recentemente. O prazo de pagamento agora pode ser atrelado à capacidade do projeto, a Garantia Física pode ser negociada entre ESCO/Cliente, foram abertos financiamentos de projetos na área pública, os diagnósticos energéticos podem ser financiados, e também passou a ser possível agregar projetos para atingir o montante mínimo do regulamento. Foram mudanças pertinentes, porém para a área industrial este programa é adequado somente para os Projetos de EE com o valor mínimo é de R\$ 5 milhões, que são os projetos centrados em trocas ou Modernizações de Equipamentos. O custo dos Projetos de EE *best practices* é normalmente pequeno, pois muitas de suas ações envolvem ajustes de *setpoints*, desligamentos seletivos ou medidas operacionais, e na maior parte das vezes o seu custo principal é o próprio custo do diagnóstico energético e suas análises. Com o limite mínimo do financiamento de R\$ 5 milhões e a exigência de Garantia Física de 1,3 vezes do valor total do financiamento, pode-se afirmar que esta carteira de financiamento do BNDES não está estruturada da forma mais adequada para atender a estes projetos.

Sem a remoção desses obstáculos as ESCOs multidisciplinares especializadas em Projetos de Eficiência Energética do tipo *best practices* não se desenvolverão no país, e esses são os Projetos de EE mais importantes para a área industrial porque são os que agregam ao aumento da eficiência energética o aumento da produtividade e da competitividade.

Para abordar este desafio da forma correta propõe-se que algumas questões sejam respondidas:

- a. Quais seriam os “Grupos Alvo” que formariam este mercado de ESCOs?
- b. Como auditar de forma apropriada e como negociar cláusulas contratuais específicas para garantir os projetos do tipo *greenfield* <sup>5</sup>?
- c. É possível substituir a Garantia Física exigida pelo BNDES por outra forma de aval para esses pequenos contratos de valor unitário inferior a R\$700 mil, por exemplo?

Respondendo a primeira pergunta, apresentam-se como “Grupos Alvo” os consultores especializados em processos industriais, as empresas criadas em incubadoras de universidades, os projetistas sêniores de sistemas industriais, entre outros, sendo certo que todos desse grupo podem oferecer à indústria algum tipo de colaboração para a adoção de melhores práticas de engenharia nos sistemas em que são especialistas, ou seja, os Projetos de EE *Best practices*.

Quanto à avaliação técnica de projetos incipientes, ainda no papel, o relatório “Financing energy efficiency: lessons from Brazil, China, India, and beyond” (THE WORLD BANK, 2008), alerta que é difícil para os financiadores desenvolverem sua própria equipe de especialistas técnicos, e indica a necessidade de formação no Brasil de avaliadores independentes para auxiliar o BNDES e os bancos comerciais. Como proposição, o PROCEL e o CONPET poderiam na fase inicial do desenvolvimento deste mercado ser acionados para colaborar com o BNDES como avalistas técnicos desses projetos.

Finalmente, para suprir a carência de garantias para o acesso ao crédito dessas pequenas ESCOs em formação, uma opção seria a criação de um Fundo de Aval ao BNDES utilizando a Lei 9.991/00 (LEI, 2000), que prevê a destinação de vinte e cinco centésimos por cento da receita operacional líquida das distribuidoras em programas de Eficiência Energética no uso final. Este Fundo de Aval garantiria basicamente o financiamento do custo do diagnóstico energético e de suas análises, e teria, portanto um valor unitário baixo como teto.

<sup>5</sup> Projetos *greenfield* são projetos incipientes para um mercado novo, em muitos países é frequente o incentivo destes modelos de projetos, que de outra forma seriam inviabilizados.



É inegável a necessidade de buscar soluções urgentes para a remoção destas barreiras, pois o processo de criação e de desenvolvimento deste mercado de ESCOs é lento. Como exemplo, conforme mostrado no Capítulo III (Desafios Identificados), o sucesso dos métodos de empréstimos pelo mercado para as ESCOs na China foi o resultado de aproximadamente oito anos do esforço persistente de um programa do governo.

### 6.3 PROCEL

Como primeira proposição, acompanhamos a recomendação do relatório do Banco Mundial de 2008 (THE WORLD BANK, 2008), para que o Brasil repense a sua estratégia de gerenciar as ações de eficiência energética em energia elétrica pelo PROCEL, e de gerenciar separadamente as ações de eficiência energética para combustíveis fósseis pelo CONPET. O relatório afirma que essas distinções são artificiais e prejudiciais para o melhor gerenciamento do “Negócio Eficiência Energética”.

Outra proposição é o aproveitamento do material relativo a sistemas auxiliares eficientes (sistemas de torres de resfriamento, ar-comprimado, bombeamento, vapor, para citar alguns) que foi utilizado em convênios do Procel com algumas Federações Estaduais de Indústrias. Este material poderia ser utilizado como embrião para a criação de escritórios avançados de eficiência energética nas associações de indústrias regionais, nas universidades ou nos SENAIs, para disseminar cursos e desenvolver localmente técnicas de *best practices* formatadas para as indústrias locais. O efeito mais importante deste modelo é que as técnicas de aumento de eficiência energética que forem aprovadas localmente para um tipo específico de indústria, poderão ser transmitidas através desses escritórios avançados para indústrias do mesmo setor localizadas em outras regiões do país.

Este modelo é um berçário para a formação de pequenas ESCOs especialistas em processos industriais multidisciplinares, e é basicamente o modelo de disseminação de informações técnicas dos Advanced Manufacturing Office (AMO) do programa Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE/DoE), do Departamento de Energia dos Estados Unidos.

### 6.4 INMETRO- ABNT

O rótulo “Equipamento Eficiente” não garante que o equipamento será utilizado de forma eficiente sendo somente uma forma de compará-lo com um equipamento menos eficiente, conforme demonstram alguns exemplos:

- a. Um compressor de ar comprimido pode ser 30% mais eficiente que o antigo, mas se os vazamentos na rede não forem eliminados antes da substituição do compressor antigo os vazamentos continuarão sendo alimentados, porém com um equipamento 30% mais eficiente.
- b. A substituição de um motor elétrico standard mal dimensionado para a sua carga por outro de mesma potência de alto rendimento economiza algo em torno de 3% de energia, que é um ganho irrisório se comparado à economia de até 50% que pode ser obtida pela substituição do motor standard mal dimensionado por outro motor standard dimensionado corretamente para a carga.
- c. A troca de uma caldeira antiga por outra 20% mais eficiente pode ser um péssimo investimento se não forem analisadas antes as necessidades de vazão e pressão no uso final, assim como as perdas existentes no sistema.

Os exemplos mostrados levam a uma situação curiosa encontrada com frequência nas indústrias; uma indústria antiga com equipamentos defasados, porém com seus processos bem dimensionados é capaz de operar com uma eficiência energética superior a uma indústria nova com equipamentos eficientes, mas que foram mal dimensionados ou estão operando fora das especificações de rendimento máximo. O aumento da eficiência energética na indústria não está na substituição de equipamentos antigos por outros mais eficientes, e sim na monitoração dos seus insumos energéticos até o uso final.

Como proposição recomenda-se que sejam discutidas as possibilidades de alteração das normas de alguns sistemas e equipamentos utilizados por todas as áreas auxiliares da indústria. Estas mudanças implicariam na inclusão pelos fabricantes de pontos de medição e sensores para os seguintes equipamentos:

- a. Caldeiras – Sensores de vazão, temperatura e pressão para: combustível, água de alimentação e vapor.
- b. Bombas – Pontos de acesso para a medição de pressão na entrada e na saída da voluta.
- c. Compressores - Sensores de temperatura para o ar de admissão e sensores de pressão, temperatura e vazão na saída do ar comprimido.
- d. Torres de resfriamento - Sensores temperatura e vazão da água nas células.

Com essas mudanças os rendimentos desses equipamentos poderiam ser acompanhados em tempo real e os ganhos que os Projetos de Eficiência Energética poderiam oferecer para a Planta ficariam transparentes para o tomador de decisão da indústria. Estas proposições podem ser estendidas para outros sistemas, mas os equipamentos listados podem ser considerados prioritários porque são utilizados por praticamente todas as indústrias. Acrescenta-se que essa proposição de mudança das normas eleva de forma insignificante os custos para o fornecedor, e praticamente não teria impacto no preço final dos equipamentos.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BISHOP, Russell. Raising energy efficiency standards to the global best. The New Climate Economy: The Global Commission on the Economy and Climate, London, Washington, DC, Sept. 2015.
- BOYD, G. A.; PANG, J. X. Estimating the linkage between energy efficiency and productivity. *Energy Policy*, [S.l.], v. 28, n. 5, p. 289-296, 2000.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, [S.l.], v. 2, n. 6, p. 429-444, Nov. 1978.
- HAN, Xishuang et al. Measuring the productivity of energy consumption of major industries in China: a DEA-based method. *Mathematical Problems in Engineering*, [S.l.], v. 2014, 2014.
- HJALMARSSON, Lennart; VEIDERPASS, Ann. Productivity in Swedish electricity retail distribution. *Scandinavian Journal of Economics*, [S.l.], v. 94, p. 193-205, 1992.
- KULSHRESHTHA, M.; PARIKH, J. K. Study of efficiency and productivity growth in opencast and underground coal mining in India: a DEA analysis. *Energy Economics*, [S.l.], v. 24, n. 5, p. 439-453, 2002.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Investment Outlook 2012: special report. Paris: OECD/IEA, 2012.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Investment Outlook 2014: Special Report. Paris: IEA, 2014a.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Capturing the multiple benefits of energy efficiency: roundtable on industrial productivity and competitiveness. Discussion Paper: International Energy Agency Headquarters, Paris, 27 Jan. 2014b.
- LEI FEDERAL No 9.991, DE 24 DE JULHO DE 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, 2000
- MALMQUIST, S; FÄRE, R; GROSSKOPF ; RUSSELL, R; Index numbers : essays in honor of Sten Malmquist, 1998
- NEELY, Andy. Designing performance measures: a structured approach. *International Journal of Operations and Production Management*, [S.l.], v. 17, n. 11, p. 1131-1152, 1997.
- UNITED NATIONS. Industrial Development Organization. Industrial energy efficiency in developing countries: a background note. Viena, 2011. (Working Paper 03/2011).
- THE WORLD BANK. Financing energy efficiency: lessons from Brazil, China, India, and beyond. Washington, DC, 2008.
- ZHOU, P.; ANG, B.W. Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance. *Energy Policy*, [S.l.], v. 36, n. 8, p. 2901-2906, 2008.