



**Luiz Fernando Barrozo Fabbriani**

**Proposta de políticas de eficiência energética para o Brasil: impacto no consumo de eletricidade na indústria de alimentos e bebidas**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Orientador: Prof. Rodrigo Flora Calili

Rio de Janeiro  
Maio de 2017



**LUIZ FERNANDO BARROZO FABBRIANI**

**Proposta de políticas de eficiência energética para o  
Brasil: impacto no consumo de eletricidade na  
indústria de alimentos e bebidas**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Rodrigo Flora Calili**

Orientador

Programa de Pós Graduação em Metrologia - PUC-Rio

**Prof. Reinaldo Castro Souza**

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

**Prof. José Eduardo Nunes da Rocha**

Energy BI Consultoria

**Prof. Márcio da Silveira Carvalho**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 04 de maio de 2017

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Luiz Fernando Barrozo Fabbriani**

Graduou-se em Engenharia Civil, ênfase em estrutura, pela Universidade Veiga de Almeida. Possui MBA de finanças corporativas pelo IAG Master na Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio) e MBA Executivo pelo COPPEAD (UFRJ/RJ). Atuou como gestor de contratos e comercial na área de engenharia de infraestrutura. Atualmente é diretor de uma ESCO (*Energy Service Company*), empresa de engenharia na gestão de programas de sustentabilidade com foco em energia na área de eficiência energética e na área ambiental na gestão de resíduos sólidos e de gerenciamento de áreas contaminadas.

#### Ficha Catalográfica

Fabbriani, Luiz Fernando Barrozo

Proposta de políticas de eficiência energética para o Brasil : impacto no consumo de eletricidade na indústria de alimentos e bebidas / Luiz Fernando Barrozo Fabbriani ; orientador: Rodrigo Flora Calili. – 2017.

97 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2017.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil – Teses. 2. Engenharia Urbana e Ambiental – Teses. 3. Sustentabilidade. 4. Gases de efeito estufa. 5. Políticas de eficiência energética. 6. Curvas de difusão tecnológica. 7. Medidas de eficiência energética. I. Calili, Rodrigo Flora. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer a minha família, em especial a minha esposa, Angela pela força e companheirismo de uma vida, por seu amor, sua amizade e total apoio.

Ao Professor Rodrigo Flora Calili, por me orientar e me auxiliar nesta pesquisas, o que permitiu que eu pudesse desenvolver o tema desta dissertação.

A todos os engenheiros e profissionais de engenharia que trabalham em planejamento e em gestão de programas energéticos e ambientais, todo o meu respeito.

Ao meu sócio na empresa OTIMIZA, Carlos Pires do Rio, que me convidou para desenvolver um novo negócio na área de sustentabilidade, possibilitando utilizar na prática todas as matérias que estudei no mestrado de engenharia urbana e ambiental.

Aos professores do mestrado de engenharia urbana e ambiental que compartilharam seus conhecimentos e experiências, agregando valor à minha formação acadêmica e profissional.

Aos colegas do curso de mestrado, especialmente Cícero A. Lima e Luiz Claudio Castro pela amizade e motivação.

Aos meus pais, Heloisa e Henrique Fabbriani.

Aos caminhos traçados pelo destino, que fizeram com que eu concluísse mais um desafio em minha vida.

## Resumo

Fabbriani, Luiz Fernando Barrozo; Calili, Rodrigo Flora (orientador) **Proposta de políticas de eficiência energética para o Brasil: impacto no consumo de eletricidade na indústria de alimentos e bebidas.** Rio de Janeiro, 2017. 97 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A eficiência energética (EE) pode ser vista como uma das melhores políticas a serem adotadas pelos países para a redução da emissão de gases de efeito estufa e para a contribuição da economia. O Brasil, apesar de fazer alguns esforços visando o uso racional de energia, ainda está longe de ser um protagonista nessa área. Por outro lado, países como Alemanha, Japão e Estados Unidos vêm adotando políticas que visam melhorar o uso da energia e, assim, mitigar suas emissões de gases de efeito estufa, além de ampliar o escopo dos negócios nessa área. A fim de alcançar um maior destaque no campo da eficiência energética, o objetivo desta dissertação é definir para o Brasil políticas de eficiência energética baseadas em experiências internacionais e medir seus impactos no consumo de energia. Para se chegar o objetivo proposto, são estudadas as principais políticas adotadas pelos países mais eficientes energeticamente. Essas políticas são representadas por curvas de difusão tecnológicas e são avaliados seus impactos na redução do consumo de eletricidade na indústria de alimentos e bebidas. Percebe-se uma redução considerável do consumo de energia e das emissões de gases de efeito estufa quando da adoção de políticas de eficiência energética nesse ramo da indústria, uma vez que políticas de eficiência energética propõem alternativas para o desenvolvimento sustentável.

## Palavras-chave

Sustentabilidade; gases de efeito estufa; políticas de eficiência energética; curvas de difusão tecnológica; medidas de eficiência energética.

## Extended Abstract

Fabbriani, Luiz Fernando Barrozo, Calili, Rodrigo Flora (advisor). **Proposal of energy efficiency policies for Brazil: impact on electricity consumption in food and beverage industry.** Rio de Janeiro, 2017. 97 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

It is usually sought a way to understand or prove a theory, in the scientific environment. The best way to promote and develop a study, is through mathematical proof, which may be through formulas, often already known, promoting modeling in different scenarios.

There are a few different ways to achieve environmental improvements aiming the reduction of greenhouse gas emissions (GHG) in the countries. But is it enough to aim the achievement of a country's targets in a country for the Government to move toward improvements?

It is through energy policies that one can achieve the biggest economic gains. The activity of energy efficiency is developed by an ESCO (Energy Saving Companies). These have in their scope to promote technical audits, in order to promote the implementation of energy efficiency measures responsible for the achievement of economic goals in energy consumption.

The best way to understand the logic of the development of actions in a country is through its policies and, in this case, the focus is on industrial energy policies. In a global analysis, seeking the understanding of how countries have positioned themselves in the face of these challenges, and comparing with what has developed in Brazil's case, one can come to some conclusions as to what are the best ways, and what are the barriers.

In the study developed in this dissertation, while seeking for a better understanding, it was found enough information on energy efficiency policies, understanding that it is an important vector in meeting future energy demand and energy security, reinforcing the comprehension that energy efficiency requires an integrated vision regarding the stakeholders, like the government, the private sector and society in general.

Since 1984, Brazil has already been deploying mechanisms and public policies related to promotion of energy efficiency, as the PBE, Procel, Conpet,

energy efficiency Law, electric motors regulations, vehicle and construction establishing labeling thresholds for incandescent bulbs and your banishment.

Focusing on energy efficiency trends in the Brazilian industrial sector and according to the energy balance of the 2016 (BEU, 2016), the industry consumed about of 196,61 TWh (2015), which represents 37,6% of total energy consumption (EPE, 2016). There are many opportunities in industrial sector to apply energy efficiency actions with focus on energy conservation.

Energy policies practices already spread around the world, have shown a great interest in the potential of energy efficiency in end-use of electricity, mainly because the megawatt-hour of electricity produced is not the cheapest (WANG; BROWN, 2013).

In order to overcome barriers related to energy efficiency incentives in a country, it is necessary the adoption of a set of measures by the various agents involved (Research; RIA; TROPIC, 2015). To achieve the effectiveness of energy policies aimed at energy efficiency intended, actions are needed within a broader context for national policy.

In industrial processes, systems such as compressor, pump, fan and others that use motors are considered to be intensive users of electricity.

The new global policies describe scenarios where, due to the advent of technologies, will ultimately define the evolution of equipment, for example standard engines for industry use, exchanging the new equipment, in this case engines, for more efficient ones with low energy consumption and with power electronics coupled (variable frequency), which improves the performance of the engine at low rpms.

The European energy policy has been developed by a Special Committee of strategies that created a report with a focus on achieving a competitive, sustainable and secure energy for the future.

There is concern about competitiveness, which is directly linked to security of energy supply and climate objectives that may be affected unless there is investment in the modernization of distribution networks of electricity, and that power generation plants are replaced by more competitive and less polluting alternatives, and energy is used more efficiently throughout the energy chain.

China has become the largest CO<sub>2</sub> emitter in the world, and in order to deal with climate change, has set ambitious goals to reduce response of CO<sub>2</sub> or energy

reduction. The plans of the nation is the reduction of its CO<sub>2</sub> emissions per unit of GDP by 40% to 45% in 2020 compared with the level of 2005 emissions and control their CO<sub>2</sub> emissions to a stable level until 2030.

Every five years the Council of State from China develops plans that give an important perspective for understanding the political system in China. The plans establish core goals and political framework for the economic and social development of the country.

It is known that the energy efficiency performance of industrial enterprises has a big impact on the achievement of the goals of national energy intensity. So, with the intention of the China Government to fulfill the goals, it was published a series of fundamental energy policies to reduce energy intensity, focusing on the biggest consumers, in this case, the industry sector.

The German Federal Government has been actively encouraging the certification of energy management by ISO 50001, by financing energy audits in several electro-intensive sectors, another policy used by the German government is incentives for electricity rates (BMW, 2014).

The cost-effective of these incentives, through the energy audit programs to companies, proved to be worth, considering the low public investment versus membership and private investment. This demonstrates a great value for the German energy efficiency policy, suggesting that it should be expanded in Germany.

Even more, the positive experiences with this program in Germany should encourage countries that have not yet established an energy audit program to do it.

In the United States case, there is a focus on reducing the price of products (increase competitiveness), which also provides an additional incentive to reduce and increase productivity. This causes industries to make the decision to self-finance, in order to take energy efficiency measures. Also, the United States have great technical potential for cogeneration, which represents 8% of electricity additional in the industrial sector (DOE, 2017).

It is widely acknowledged that the behavior of investment in energy efficiency measures (EEM) does not follow a common analysis of rational cost. In fact, many of barriers often prevent investment in cost-effective technologies (SCHLEICH; GRUBER, 2008).

The main recommendations in energy audits are the actions of common cross Technologies (CCT), to all businesses. As an example, the heating system, lighting, more efficient engines etc. generally do not affect the quality of a product or production process.

Typical barriers that persist after the energy audit are mainly related with the typical complaints related to financing high-value projects and the cost of capital to be invested. Other classic barriers such as “the project takes too long to be implemented” or “not enough know-how to implement” only persists in some cases, indicating that the program helps to overcome many obstacles.

Other reasons that persist after the energy audit are the “lack of staff for implementation” and “the implementation makes the cash flow unfeasible”.

There is a big gap when comparing industrial energy efficiency policies in Brazil versus international.

This dissertation is focused on technological diffusion curves scenarios analyses, with approaches to energy efficiency improvements in industrial Energy Efficiency Measures processes.

The technological diffusion curve can be used in the analysis of technological maturity, in which the temporal evolution of the quantity of scientific articles, patents and possibly products based on a given technology are represented in a time scale (NETO, 2011).

Technological changes follow a trajectory that results in innovation. These trajectories are constructed based on the dominant and contemporary technological paradigm of change. Considering that innovation is a selective activity, the technological trajectory is a mechanism that selects the possible technological alternatives to achieve this purpose (MACULAN, 2011).

Technology diffusion models assume that the growth and / or acceleration of adoption of a given technology or innovation depends on the total potential of consumer acceptance and the percentage of growth.

It is in the bottom up models that technology considerations are more detailed, which means that this model allows the modeling of the impact of different technologies, well set on the long-term development of energy consumption. Energy efficiency studies of the national energy Plan 2050 projected potential savings for electric energy in Brazilian industry, depending on the scenario adopted for the growth of the economy (EPE, 2007).

One of the main barriers encountered in the sector include the lack of incentives, lack of funding, lack of legal framework and tax incentives for independent power production or cogeneration, unavailability of certain technologies for small and medium enterprises.

Based on modeling from equations and analysis of different scenarios of technological diffusion curves and considering the respective specific savings adopted for each energy efficiency process, multiplying by the percentage difference between the final year and the initial year, it was found the total amount of energy savings.

The comparison of the amount of energy saved was established by fixing the initial year in 2013 and varying the final years every 5 years (2020, 2025, 2030, 2035, 2040, 2045, 2050) and adopting the scenario of Autonomous Diffusion as the lower limit and the Maximum Diffusion as the upper limit, thus varying the Induced Diffusion with factors from 0.1 to 0.9. Percentage ranges to represent the insertion of policies focused on energy efficiency were considered as a premise.

It can be concluded that, in the case of analysis of the technological diffusion curves of the Energy Efficiency Measures in the food and beverage industry processes related to (i) Partial homogenization of the dairy segment and; (ii) Optimization of the cooling process in the meat processing segment, the faster the implementation of the energy policies, with the introduction of new complementary energy policies such as: fiscal incentive, adoption of lower rates, longer terms Financing or subsidies on energy cost tariffs, will accelerate the adoption of EEM and, consequently, reduction of electric energy consumption, as well as increasing the competitiveness of Brazilian industries.

The result of the energy savings in the application of Cost Effective Diffusion as a scenario of the technological diffusion curves, demonstrated in the two EEM, reinforce the need for new energy efficiency policies.

These two EEM summed a total accumulation of 106,356.67 MtCO<sub>2</sub> avoided in the Cost Effective Diffusion scenario between 2013 and 2050, as shown by industry. It is concluded that the methods of modeling of diffusion curves are suitable and adherents for the analysis of the effect of energy efficiency policies.

## **Keywords**

Sustainability; greenhouse gases; energy efficiency policies; technological diffusion curves; energy efficiency measures.

## Sumário

1. Introdução	20
1.1 Contexto	20
1.2 Objetivo	22
1.3 Estrutura do Trabalho	23
2. Políticas de Eficiência Energética no mundo: foco na indústria	24
2.1 Experiências Internacionais	24
2.1.1 União Europeia	27
2.1.2 China	29
2.1.3 Alemanha	31
2.1.4 Estados Unidos da América	33
2.2 Conclusões sobre as políticas de eficiência energética internacionais	36
3. As Políticas de Eficiência Energética no Brasil: foco na indústria	38
3.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE (1984)	38
3.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL (1985)	39
3.3 Programa Nacional da Racionalização do uso dos derivados do Petróleo e Gás Natural – CONPET (1991)	40
3.4 Programa de Eficiência Energética das concessionárias de energia elétrica - PEE ANEEL (2000)	40
3.5 Lei de Eficiência Energética (2001)	43
3.6 Decreto 4508/2002 e Portaria MME/MDIC/MCTI 553 de 2005	44
3.7 Plano Nacional de eficiência energética PNEf (2011): foco na indústria	45
3.8 Proposta de novas políticas para o Brasil baseadas nas experiências internacionais	48
4. Curvas de difusão tecnológica aplicadas à projeção de demanda de energia	49
4.1 Histórico	49

4.2 Modelos previsão da demanda de energia Top-down e Bottom-up	52
4.3 Cenários de difusão tecnológica	52
5. Cenários de difusão da eficiência energética no Brasil: o caso da indústria de Alimentos e Bebidas	60
5.1 A indústria de Alimentos e Bebidas	60
5.1.1 O Setor industrial no cenário Brasileiro	60
5.1.2 O Setor de Alimentos e Bebidas no Brasil	62
5.1.3 Processos da indústria de Alimentos e Bebidas	65
5.2 Comparação dos cenários de difusão tecnológica: indústria de Alimento e Bebidas	70
5.2.1 Cenários de Eficiência Energética	71
5.2.1.1 Homogeneização parcial em produtos lácteos	71
5.2.1.2 Otimização do Processo de resfriamento – em processamento de carne	77
5.2.2 Resultado dos Cenários x Economias obtidas	83
5.2.3 Conclusão da análise das economias nos dois processos do setor de alimentos e bebidas	89
5.3 Discussão do resultado	89
6. Conclusão	91
Referências bibliográficas	93
Apêndices	96

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Lista de resultados de Projetos aprovados do PEE até 2014	43
Tabela 2 - Setor Industrial: consumo de eletricidade e conservação de energia	61
Tabela 3 - Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em produtos Lácteos para o período de 2020	72
Tabela 4 – Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em produtos Lácteos para o período de 2025	72
Tabela 5 – Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em Produtos Lácteos para o período de 2030	73
Tabela 6 – Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em Produtos Lácteos para o período de 2035	73
Tabela 7 – Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em Produtos Lácteos para o período de 2040	74
Tabela 8 – Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em Produtos Lácteos para o período de 2045	74
Tabela 9 – Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em Produtos Lácteos para o período de 2050	75
Tabela 10 – Evolução das Economias no Processo de Homogeneização Parcial em produtos Lácteos	76
Tabela 11 – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2020	78

Tabela 12 – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2025	78
Tabela 13 – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2030	79
Tabela 14 – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2035	79
Tabela 15 – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2040	80
Tabela 16 – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2045	80
Tabela 17 – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2050	81
Tabela 18 – Evolução das Economias no Processo de Otimização de Resfriamento – em Processamento de carnes	82
Tabela 19 - Cálculo das Economias das Medidas de Eficiência Energéticas de acordo com o consumo elétrico	85
Tabela 20 - Cálculo das Economias das Medidas de Eficiência Energéticas de acordo com o consumo elétrico	87

## Lista de Figuras

Figura 1 - Ranking das Oportunidades de aplicação das Medidas de EE	25
Figura 2 - Curva de difusão da inovação	50
Figura 3 - Curvas de Difusão tecnológicas com os 4 Cenários	55
Figura 4 - Cálculo do PLD em MWh por região (5ª semana de março de 2017)	59
Figura 5 – Distribuição do Consumo Elétrico dos principais setores	61
Figura 6 – Distribuição do Consumo Elétrico dos subsetores Industriais	62
Figura 7 – Estrutura esquemática dos processos estudados da indústria de alimentos e bebidas	67
Figura 8 – Simulação da Difusão tecnológica das MEE no Processo de Resfriamento	68
Figura 9 – Simulação da Difusão tecnológica das MEE no processo de Homogeneização Parcial	69
Figura 10 - Curvas referentes as economias de acordo com o consumo elétrico referente a produção de todo o setor de alimentos e bebidas	86
Figura 11 - Curvas referentes as economias de acordo com o consumo elétrico referente a produção de todo o setor de alimentos e bebidas	88

## **Lista de Quadros**

Quadro 1 - Resumo do ranking das Políticas Energéticas Industriais Internacionais	26
Quadro 2 - Resumo Comparativo das Políticas Energéticas Industriais Internacionais	37
Quadro 3 - Comparativo das Políticas Energéticas Brasileiras x Internacionais	47

## Lista de Siglas

ABESCO	Associação Brasileira de Empresas de Conservação de Energia
ABIA	Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação
AEEI	<i>Autonomus Efficiency Energetic Improvement</i> - Melhorias autônomas de eficiência energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo
APP	Parceria Ásia-Pacífico
BEU	Balanço Energético útil
BEN	Balanço de Energia Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
<i>Botton-up</i>	De baixo para cima
CCT	Cross Cutting Technologies – Tecnologias Transversais
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural
CNI	Confederação Nacional de Industria
CHP	<i>Combine Heat and Power</i> - Combinação de Calor e Energia
CO <sub>2</sub>	Gás Carbônico
EEM	Energy Efficiency Measures - Medidas de Eficiência Energética
EUA	Estados Unidos da América
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCO	<i>Energy Saving Company</i> –Empresa de Conservação de Energia
GEE	Gases de efeito estufa
GWh	Giga Watts hora

GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i> – Agência Alemã de Cooperação Internacional
IEA	<i>International Energy Agency</i> - Agência Internacional de Energia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPEEC	Parceria Internacional para a Cooperação de Eficiência Energética
MMA	Ministério de Meio Ambiente
MCTI	Ministério de Ciências Tecnologia e Inovação
MME	Ministério de Minas e Energia
MEE	Medidas de eficiência energética
ONU	Organização das Nações Unidas
NOS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PLD	Preço de liquidação das diferenças
PNE	Plano Nacional de Energia
PME	Pequenas e Médias Empresas
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RCE	Certificados de Redução de Emissões de carbono
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SIN	Sistema Interligado Nacional
EU	União Europeia

“O mais importante neste mundo não é tanto onde estamos, mas em que direção nos movemos.”

O.W. Holmes

# 1. Introdução

## 1.1 Contexto

A matriz de energia elétrica brasileira é composta, em sua maior parte, por geração hidráulica, correspondente a 64% do consumo em 2015 (EPE, 2016a). Nesse ano, a participação de renováveis na matriz energética brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo. Houve queda de 5,7% na produção de energia hidráulica em 2015, em relação ao ano de 2013, em decorrência de uma estiagem prolongada, forçando o Operador Nacional do Sistema (ONS) a despachar termelétricas, sobretudo proveniente de derivados de petróleo, carvão e gás natural, que atingiu 22,2% de participação na matriz elétrica. Assim, trocou-se o uso de uma energia limpa por uma energia suja e de maior impacto ambiental, e um aumento nas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Assim, pode-se acreditar que as condições hidrológicas desfavoráveis tem relação com o impacto das mudanças climáticas. Além de colocar em risco a geração de fontes hidráulicas, a redução dos níveis de água nos reservatórios coloca em risco o fornecimento de água potável.

De acordo com o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), foi despachado, no ano de 2014, das usinas que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN), 34,4% de geração termoe elétrica, como consequência das condições hidrológicas desfavoráveis, ocasionando o aumento nas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Mesmo nestas condições, o Brasil permanece na liderança dos países com maior participação das fontes renováveis em sua matriz energética, ainda possui baixos níveis de emissões de GEE em relação aos níveis de 2013 (EPE, 2015).

Nesse contexto, levando-se em conta que no Brasil o setor industrial é o maior usuário de energia elétrica — aproximadamente um terço da energia final disponível para a sociedade brasileira é consumida no segmento industrial, para atendimento energético de seus processos produtivos —, este é considerado um setor de uso intensivo de energia, responsável por 37,61% do consumo da energia brasileira no ano de 2015.

Em 2008 e 2009, a crise econômica global afetou fortemente a indústria nacional e observou-se redução na intensidade energética. Uma vez superada a crise, há um novo momento de retomada de investimentos, com destaque para projetos nas áreas de siderurgia, bauxita, alumina e celulose (+1% ao ano).

Atualmente no Brasil existe grande preocupação com diversas questões importantes ligadas à segurança energética e que estão fortemente atreladas à escassez de recursos naturais — sobretudo a redução da capacidade de regularização dos reservatórios de energia —, forçando o uso de gerações de energia mais caras e poluentes, como as térmicas, com vistas a manter o suprimento da demanda de energia. Além disso, essa geração de energia térmica, além de garantir do fornecimento de energia, é responsável pelo aumento dos preços e das tarifas no país.

Aponta-se, em diversos estudos, que as políticas energéticas têm uma influência fundamental na aceleração da adoção de medidas de eficiência energética no setor industrial, posicionando-se com um papel importante e estratégico no atendimento da futura demanda, além de assegurar o fornecimento de energia para a sociedade.

Percebe-se assim que a aplicação de políticas energéticas que melhorem o entendimento e que sejam responsáveis pela aceleração na adoção de medidas de eficiência energética, associadas a incentivos fiscais e financeiros com foco no setor industrial, é de suma importância para garantir a segurança do suprimento, contribuir para a modicidade tarifária (um dos pilares do novo modelo do setor elétrico brasileiro, conforme Lei 10.848/2004) (BRASIL, 2004), competitividade da economia e redução de impactos ambientais, entre eles a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Segundo dados do BEN (2016) e (EPE, 2016a), em 2015 a indústria de metais não ferrosos foi a que apresentou o maior consumo de eletricidade no Brasil (13,7%), seguida pela indústria de alimentos e bebidas (13,3%). Dessa forma, é importante entender com se dá o consumo de eletricidade em cada um dos processos dessas duas indústrias, bem como o consumo dos principais equipamentos que utilizam energia em todos estes processos.

Na grande maioria das indústrias que empregam altas quantidades de eletricidade, o consumo de motores acoplados a outras máquinas exigidas no processo industrial (e.g., compressores de ar, ventiladores, bombas etc.) representam enorme parcela desse consumo. Dessa forma, as novas políticas energéticas mundiais descrevem cenários onde, por motivos de evolução das tecnologias, exige-se a troca de motores antigos e obsoletos por motores mais eficientes nas indústrias, podendo estes serem acrescidos de tecnologias de

eletrônica de potência (variadores de frequência) que melhoram a performance do motor em baixas rotações.

Embora as políticas de trocas de motores nas indústrias de eletro intensivas sejam muito importantes, outras políticas, visando a redução do consumo de energia nos processos, não podem ser negligenciadas, haja visto seu potencial de redução do consumo global de energia nessas indústrias e no mercado de energia. Dessa forma, é importante verificar o grau de difusão tecnológica das medidas de eficiência energética (*saving options*, na literatura inglesa) nas indústrias que fazem o uso intenso de energia elétrica que possam contribuir para a maior eficiência energética de um país.

## 1.2 Objetivo

O Brasil, apesar de alguns esforços visando o uso racional de energia, ainda está longe de ser um protagonista nessa área. Por outro lado, países como Alemanha, Japão e Estados Unidos vêm adotando políticas que se dispõem a melhorar o uso da energia e assim mitigar suas emissões de gases de efeito estufa, além de ampliar o escopo dos negócios nessa área. A fim de alcançar um maior destaque no campo da eficiência energética, os objetivos desta dissertação são: definir, para uma indústria do Brasil, políticas de eficiência energética baseadas em experiências internacionais, e medir seus impactos no consumo de energia. Para alcançá-los, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar as políticas de Eficiência Energética nacional com foco no setor industrial;
- Verificar, na literatura internacional, as tendências das políticas energéticas com relação às medidas de eficiência energética nas indústrias mundiais, com foco na redução e na mensuração desse impacto do consumo e da demanda do setor industrial brasileiro, e também quais são estas políticas de Eficiência Energética adotadas por outros países no setor da indústria;
- Cruzar as políticas nacionais e internacionais e sugerir novas políticas de Eficiência Energética para o Brasil;

- Estimar, por meio do estudo da difusão tecnológica das medidas de eficiência energética, quais serão os impactos das políticas propostas;
- Indicar cenários de adoção dessas políticas de eficiência energética na indústria de alimentos e bebidas e mensurar seus impactos no consumo.

### 1.3 Estrutura do Trabalho

Visando alcançar os objetivos deste estudo, este trabalho está dividido nos seguintes capítulos:

O Capítulo 1 apresenta as políticas energéticas no mundo, com foco no setor industrial. Examina, ainda, as políticas governamentais em relação às políticas energéticas. Apresenta, também, um resumo das políticas adotadas e os resultados de sua aplicação.

No Capítulo 2 são apresentadas as políticas de eficiência energética do Brasil com foco no setor industrial, com os respectivos papel e responsabilidade de cada entidade governamental envolvida. Nele também se delineia a evolução dessas políticas e se aponta o status atual das novas diretrizes energéticas focadas nas indústrias. Esse capítulo trará, por fim, um resumo das políticas somadas às diretrizes, como forma de comparação com o que tem sido aplicado internacionalmente.

No Capítulo 3 são apresentados a metodologia de análise e os critérios de economia de consumo de energia, em relação a diferentes adoções de cenários. O método de curvas de difusão tecnológica foi utilizado para a análise dos cenários, bem como para quantificar a economia obtida.

O Capítulo 4 avalia, mediante a ótica do subsetor industrial de alimentos e bebidas, a evolução da curva de difusão tecnológica de medidas de eficiência energética em dois processos cujo consumo de eletricidade é elevado. Neste capítulo também são avaliadas as economias em quantidade de energia elétrica em TWh e de emissão de CO<sub>2</sub> evitado, por segmento, e em todo o setor de alimentos e bebidas.

O último capítulo apresenta a discussão dos resultados e as conclusões do estudo, bem como a sugestão de trabalhos futuros.

## **2** **Políticas de eficiência energética no mundo: foco na indústria**

### **2.1** **Experiências internacionais**

Nas últimas décadas tem existido um grande interesse no potencial de eficiência energética no uso final de eletricidade, principalmente porque o megawatt-hora de eletricidade que não é produzido é mais barato do que construir novas usinas geradoras (WANG; BROWN, 2013). Reduzir o consumo de eletricidade por meio da eficiência energética também ajuda a conservar os combustíveis fósseis, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e de gases nocivos à saúde pública, além de aumentar a segurança energética e contribuir para a estabilidade do sistema elétrico de potência (SEP). Assim, o correto planejamento dos recursos energéticos deve ser abrangente e integrado, considerando o potencial para o aumento da eficiência energética como forma de redução dos investimentos para transmissão e geração de energia elétrica.

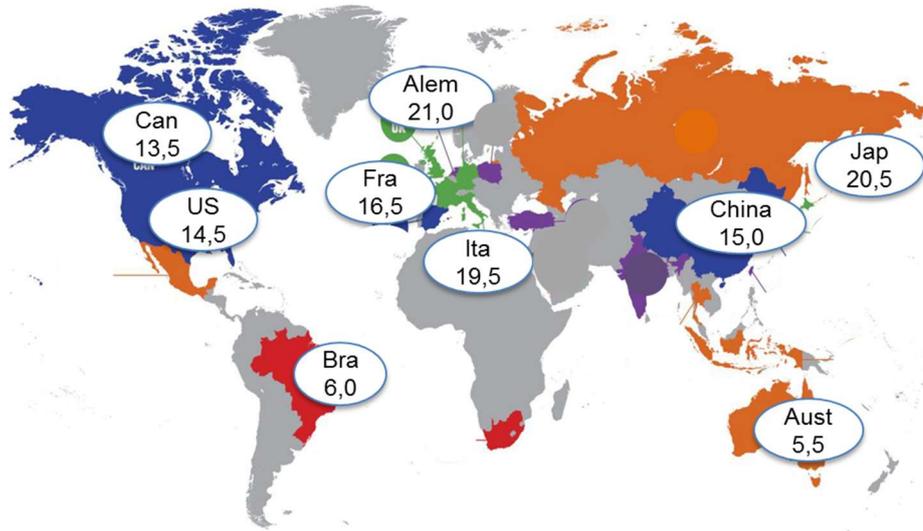
Dessa forma, entende-se que o ideal é planejar a melhor combinação dos recursos para uma entrega de energia mais confiável, acessível e limpa. Assim, é fundamental o aprofundamento do conhecimento e da capacidade de modelagem em torno dos recursos no uso da eficiência energética, para garantir a integridade de um melhor planejamento para a expansão de transmissão, otimização dos recursos do Estado e ampliação de políticas energéticas regionais.

Em 2016 foi elaborado um relatório internacional referente ao desempenho dos esforços nacionais em relação às medidas de eficiência energética adotadas em vinte e três países, medindo inclusive as oportunidades de melhorias. Esses dados são apresentados na Figura 1 e mais em detalhe no Quadro 1 (YOUNG, R. et al., 2014). Enquanto alguns países, como Alemanha e Japão, têm pontuação elevada no *ranking*, mais de vinte pontos, o Brasil tem somente seis pontos, sendo que as políticas que contribuem para esta pontuação são, por exemplo, acordos voluntários, auditorias energéticas e capacidade instalada de cogeração.

Existem diversas iniciativas voltadas para a melhoria no uso da energia ao redor do mundo. Alguns países optaram por incentivar o desenvolvimento de

inovações tecnológicas, devido a questões como a manutenção da segurança energética e melhoria da eficiência energética.

**Figura 1** – Ranking das Oportunidades de aplicação das Medidas de EE



Fonte: adaptado de ACEEE, 2016

Para superar as barreiras relacionadas aos incentivos da aplicação de políticas que suportem e estimulem a adoção de parâmetros de eficiência energética em um país, é necessário a adoção de um conjunto de medidas por parte dos diversos agentes envolvidos. (OLIVEIRA, 2015)

Entende-se que, para se alcançar a efetividade em políticas energéticas voltadas para a eficiência energética pretendida, são necessárias ações orientadas dentro de um contexto mais amplo a título de política nacional.

Com isso, é importante que haja uma seleção de quais medidas comporão esse conjunto de ações, mais especificamente, quais ações e mecanismos devem ser priorizados. Esse movimento consiste na primeira e fundamental etapa para que sejam mapeados e, posteriormente, realizados todos os esforços necessários para o alcance de metas de eficiência energética.

Este capítulo tem por objetivo mostrar as principais política energética adotadas pelas grandes potências econômicas mundiais com foco na melhoria da eficiência energética desses países.

**Quadro 1** - Resumo do ranking das Políticas Energéticas Industriais Internacionais

Medidas Totais Industriais	Pontos máximos	Australia	Brasil	Canada	China	Italia	França	Alemanha	Japão	US
	25	5.5	6	13.5	15	19.5	16.5	21	20.5	14.5
Intensidade de energia Industrial	6	2	1	4	0	5	5	5	5	3
Acordos voluntários	3	0	0	3	3	3	3	3	2	2
Gerentes de energia	2	0	0	0	2	2	0	0	2	0
Auditorias de energia obrigatórias	2	0	0	0	2	2	2	2	2	0
Capacida de CHP instalada	2	0.5	0.5	0.5	1	1.5	0	1.5	0	0.5
Política de CHP	2	0	1	1	1	1	1	2	2	2
Padrões de motores	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2
Política de gestão energética	2	0	0	2	2	1	1	2	2	2
P&D investimentos	2	1	1	0.5	1	0.5	1.5	1.5	2	2
Intensidade energética na agricultura	2	1	1.5	0.5	2	1.5	1	2	1.5	1

Fonte: adaptado de ACEEE, 2016

### 2.1.1 União Europeia

A União Europeia (UE) vem promovendo uma guinada energética através de incentivos para a aplicação de energia renovável e de eficiência energética, os quais vêm sendo desenvolvidos por uma comissão especial de estratégias cujo objetivo é a obtenção de uma energia competitiva, sustentável e segura para 2020. As políticas de eficiência energética nos países da comunidade europeia estão pautadas em uma agenda sustentável, em cumprimento dos acordos internacionais como o Protocolo de Quioto.

Verifica-se a preocupação quanto à competitividade, questão diretamente ligada à segurança no fornecimento de energia. Assim, buscam-se na União Europeia políticas que possam contribuir para uma maior competitividade, maior eficiência energética e menor emissões de gases de efeito estufa por parte do bloco. Portanto, os investimentos na modernização das redes de distribuição (*smart grid*), no empoderamento do consumidor na tomada de decisão por meio de políticas que incentivem a instalação de medidores eletrônicos (*smart metering*)<sup>1</sup>, e na construção de geração renovável são comuns nos países pertencentes à comunidade europeia.

Percebe-se que a estratégia delineada no relatório pela comissão especial se configura como um primeiro passo para preparar a União Europeia para os maiores desafios que irá enfrentar até 2020, reforçando a competitividade das indústrias europeias por meio das seguintes políticas energéticas (Quadro 2), ao final do capítulo:

- Criação de barreiras para produtos manufaturados com utilização intensiva de energia e de recursos;
- Exploração do potencial por meio de acordos voluntários com ramos da indústria que façam uso intensivo de energia e de recursos, a fim de forçar a adoção de ações de eficiência energética;

---

<sup>1</sup> A medição inteligente ou *smart metering* utiliza medidores elétricos que registram o consumo de energia elétrica em intervalos de uma hora ou menos, e comunicam essa informação pelo menos uma vez ao dia à distribuidora de energia elétrica para fins de monitoramento e faturamento. Muitas das vezes estes medidores são bidirecionais, possibilitando a um cliente da concessionária de energia, não ser apenas consumidor, mas também micro ou mini gerador de energia elétrica.

- Implementação de regimes de gestão de energia (por exemplo, auditorias, planos gestores de energia), com foco nas PMEs (Pequenas e Médias Empresas);
- Adoção de financiamentos com melhores prazos e taxas, além de incentivos fiscais;
- Implantação de uma política energética mais abrangente de etiquetagem, a fim de assegurar uma melhor comparação entre produtos;
- Disponibilidade de financiamento de produtos com tecnologias inovadoras (ex: equipamentos inovadores de geração de energia com o uso de recuperação de calor desperdiçado no aquecimento nas indústrias);
- Financiamento da União Europeia, em especial dos Fundos Estruturais, continuando a basear-se em soluções de ações de eficiência energética existentes de sucesso (ex: desenvolveram-se mesas setoriais de troca de ideias e boas práticas de eficiência energética entre os usuários dos subsetores industriais).

Esse conjunto de políticas energéticas da União Europeia indica uma importante contribuição para o atingimento dos objetivos da nova estratégia para o crescimento inteligente, sustentável e inclusivo em apoio a uma base industrial forte, diversificada e competitiva.

A Europa tende a reconhecer que a sua base industrial necessita de alterações profundas na produção, na utilização e no armazenamento de energia, exigindo esforços significativos em termos de inovação técnica e de investimentos (EUROPEAN COMMISSION, 2014).

Nesse contexto, vem-se promovendo um mercado dinâmico e concorrencial, o que vem a permitir um grande reforço das disposições institucionais de acompanhamento e orientação dessa evolução. O que conseqüentemente vem permitir a melhoria na segurança e na sustentabilidade dos sistemas energéticos, da gestão de redes e da regulação do mercado da energia.

Verifica-se, assim, que o envolvimento dos consumidores domésticos e empresariais na transição para um futuro sustentável, em termos de energia, é cada vez mais importante, por exemplo: mediante a economia de energia, a redução do

desperdício e a mudança para tecnologias de energia hipocarbônicas<sup>2</sup> (energia renovável).

### 2.1.2 China

A China se tornou a maior emissora de gases de efeito estufa no mundo, uma vez que esse país tem uma matriz energética baseada em combustíveis fósseis. A fim de lidar com as questões relacionadas à mudança climática, a China fixou compromissos ambiciosos de redução da emissão de gases de efeito estufa e de redução do consumo de energia. Assim, o país estabeleceu metas de redução de emissões de CO<sub>2</sub> por unidade de PIB em torno de 40% a 45% até 2020, em comparação com o nível de emissões de 2005, além de controlar suas emissões de CO<sub>2</sub> a um nível estável até 2030.

Dessa forma, aprovou-se uma nova política energética para garantir que até 2030 sejam feitas as mudanças necessárias para que a meta de diminuição de emissões de CO<sub>2</sub> seja atingida, principalmente através do uso da eficiência energética (WANG et al., 2014). Assim, a tendência na China é que as políticas energéticas sejam inicialmente implementadas nas grandes indústrias e, na sequência, na pequenas e médias empresas (PMEs).

O governo chinês vem desenvolvendo, através do conselho de Estado, planos quinquenais denominados FYP (*Five-Year-Plan*), que fornecem uma perspectiva importante para a compreensão do sistema de políticas na China. Nesse planejamento são estabelecidas as metas de enquadramento político para o desenvolvimento econômico e social do país e para a redução da intensidade energética nacional, com foco no desenvolvimento de ações de eficiência energética (sempre calculada pelo PIB – produto interno bruto).

A meta do plano quinquenal para os anos de 2006 a 2010 foi a redução de 20% na intensidade energética e, para o quinquênio seguinte, que compreendeu os anos de 2011 a 2015, foi de 16%.

Verificou-se que, para reduzir a intensidade energética, o governo central implementou um sistema de metas e responsabilidade denominado TRS (*Energy*

---

<sup>2</sup> Tecnologias hipocarbônicas: que fazem uso eficiente de todas as energias, significando o uso de pouco carbono, mais focado em energias renováveis ou energia limpa.

*saving target systems* — sistema de metas de economia de energia, em tradução livre), para desagregar metas nacionais de economia de energia em regiões ou setores importantes (ZHAO; WU, 2016).

O TRS tornou-se o mecanismo de diretiva básica da implementação das políticas energéticas na China, sendo a indústria o setor da economia com maior foco, por consumir 69% da energia do país, segundo relatório do *National Bureau Statistics* (NBS - Escritório Nacional de Estatísticas, em tradução livre) de 2014.

Entende-se que o desempenho de eficiência energética das empresas industriais tem grande impacto sobre o atingimento das metas de intensidade energética nacional. Assim, com a intenção do governo central de cumprir essas metas, foi decretada uma série de políticas energéticas fundamentais na forma de um programa cujo foco é a redução da intensidade energética dos maiores consumidores de energia, a saber, os setores industriais. São eles o “Top 1000” Plano 2006 a 2010)<sup>3</sup> e o “Top 10.000” (Plano 2011 a 2016)<sup>4</sup>. Um exemplo das políticas energéticas industriais definidas é que as empresas que usam muita energia, mas que têm baixa capacidade produtiva, devem pagar sobretaxas pelo uso da eletricidade. Destaca-se que o consumo energético da indústria representa 69,44% do consumo energético total no país.

Na indústria de aço e ferro as políticas incluem inovações tecnológicas como o uso de secagem de têmpera de coque, geração de energia de ciclo combinado de gás-vapor, geração de energia por meio do uso do calor desperdiçado de alto fornos e conversores em grande escala.

A aplicação de ferramentas de gestão, como por exemplo contratos de gestão de economia de energia, na redução da intensidade energética também é empregada na aplicação de políticas energéticas, como medidas para gestão de fundo de incentivos de financiamento no uso de tecnologias mais eficientes, visando a economia de energia. (QINHUA, 2009).

Por fim, verifica-se que as políticas energéticas no setor industrial na China não têm sido aplicadas de maneira uniforme, o que não vem garantir a igualdade nos diversos subsetores industriais (YU et al., 2015).

---

<sup>3</sup> O desafio de reduzir o consumo de energia das 1.000 maiores indústrias na China através das Políticas Energéticas no Plano de cinco anos compreendidos entre 2006 a 2010.

<sup>4</sup> O desafio de reduzir o consumo das 10.000 maiores indústrias na China através das Políticas Energéticas no Plano de cinco anos compreendidos entre 2011 a 2016.

Medidas de controle, por exemplo, foram predominantemente implementadas, com incentivos econômicos e medidas informativas tendo um papel complementar, enquanto que a automação não teve papel importante no mercado (Qi, Y., 2011, apud YU et al., 2015). No final deste capítulo é apresentado um resumo das Políticas Energética Industriais na China (Quadro 2).

### 2.1.3 Alemanha

O fechamento das usinas nucleares e o fomento das energias renováveis são a tônica do novo conceito de transição de energia do governo alemão, o que ocasionou o fechamento das oito usinas nucleares do país em 2011 e a redução do tempo de funcionamento das plantas nucleares que restaram.

A corrida pela adoção de energias renováveis (energia eólicas e energias renováveis no mercado de aquecimento), por meio de incentivos e medidas de políticas governamentais regulatórias, foram as responsáveis pelas significativas economias da energia primária.

Fazem parte dos programas de eficiência energética do governo alemão medidas para promover investimentos em eficiência energética, como programas de financiamento para edifícios que visam a eficiência energética em casos de *retrofit*, e também medidas focadas na promoção da adoção de novas tecnologias de eficiência energética através de informação e aconselhamento. Essas medidas compõem uma lista detalhada com descrições. Abaixo são listadas diversas medidas focadas em eficiência energética, visando as economias da energia primária:

- de normalização;
- que afetam os preços como taxas;
- de suporte aos investimentos;
- de consultoria e programas de etiquetagem.

Ao analisar o documento do Terceiro Plano de Ação Nacional de Políticas de Eficiência Energética da República Federal da Alemanha do ano de 2014, com foco em 2020, verificou-se que a orientação para o mercado foi desenhada como instrumento para permitir que os investimentos sejam destinados a evitar as

emissões, onde verificou-se a existência de atribuições de valores monetários para as emissões de gases de efeito estufa e conseqüentemente do consumo de energia, o que acaba por criar incentivos para aumentar a eficiência energética.

Como forma de política energética, existem algumas diretivas energéticas industriais com foco na diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Nesse caso, por exemplo, são utilizados limites regulatórios visando negociações que preveem o controle de emissões de GEE, aprovação de operações ou fechamento de instalações industriais. Além disso, são avaliadas as melhores tecnologias disponíveis para definir os limites de emissões de GEE, para aprovação de concessões de licenças para novas plantas.

No lado da demanda, as indústrias adotaram a gestão de energia como medida de eficiência energética visando a economia e o gerenciamento do consumo e da demanda, na utilização de sistemas de gestão de energia de acordo com a certificação DIN EN ISO 50001<sup>5</sup> (Nagus, 2014).

Desde 2008, como exemplo de política de eficiência energética, o Governo Federal Alemão tem promovido incentivos através de programa de fornecimento de subsídios para auditorias de energia nas pequenas e médias empresas, por meio de financiamentos que cobrem até 80% das despesas acima de determinado valor (no caso, EU\$ 8.000,00), além de incentivos na diminuição dos impostos de eletricidade (BMW, 2014). O governo tem ainda incentivado amplamente a certificação de gerenciamento de energia pela ISO 50001 e de gestão ambiental pela regulação EMAS<sup>6</sup>. Esse programa foca principalmente em superar as barreiras ligadas à adoção de medidas de eficiência energética, como falta de informação ou de capacidade técnica e de investimentos.

Nessa ação foram avaliados os impactos do programa em termos de economia de energia, redução de CO<sub>2</sub> e custo-efetividade. Constatou-se que, dentre as empresas que usaram o programa de auditorias de energia, houve a adoção de duas a três medidas de eficiência energética, o que comprova, neste caso, que sem o programa nenhuma medida seria adotada.

---

<sup>5</sup> A ISO 50001 é uma norma internacional que trata da Gestão de Sistemas de Energia.

<sup>6</sup> (EMAS) *EU Eco-Management and Audit Scheme* (Regime da União Europeia na gestão e auditoria ambiental – tradução livre) é um instrumento de gestão desenvolvido pela Comissão Europeia para as empresas e outras organizações avaliar, relatar e melhorar o seu desempenho ambiental. EMAS está aberto a todos os tipos de organização, que tem o foco na melhoria do desempenho ambiental. Abrange todos os setores econômicos e de serviços e é aplicável em todo o mundo.

O custo-efetivo do incentivo através dos programas de auditoria energética para as empresas mostrou-se valer muito a pena, tendo em vista o baixo investimento público versus o nível dos investimentos privados. Assim, cada 1 EU\$ de gasto público nesse subsídio de auditoria energética promoveu de 17 a 33 EU\$ de investimento privado (FLEITER et al., 2012).

Buscando-se o entendimento, através de um balanço geral, durante um período de avaliação de março de 2008 a junho de 2010, constatou-se que foram executadas um total de 10.400 auditorias subsidiadas e aprovadas pelo Banco de Desenvolvimento Alemão (KfW). Destas, 80% eram auditorias preliminares e 20% auditorias detalhadas. As aprovações das auditorias energéticas mantiveram-se no patamar de 400 a 500 auditorias mensais, depois de um aumento inicial no início do programa em 2008 (EUROPEAN COMMISSION, 2011). Dentre as empresas que receberam os subsídios de auditoria, constatou-se que as do setor de processamento de alimentos e de comércios de varejo de alimentos foram as que mais demandaram esse recurso.

Constata-se que o programa de auditoria energética tem tido, até hoje, um grande sucesso para a política de eficiência energética alemã — o que sugere que deve ser ampliado na Alemanha — sendo um ótimo exemplo de política energética que incentiva as tomadas de decisões visando as ações e medidas de eficiência energética, e encorajando outros países que ainda não estabeleceram este tipo de programa. No final deste capítulo é apresentado um resumo das Políticas Energética industriais na Alemanha (Quadro 2).

#### **2.1.4 Estados Unidos da América**

O consumo de eletricidade, quando comparado com outros consumos energéticos nos Estados Unidos, está subdividido em residencial (90%), comercial (60%) e industrial (30%). Os aparelhos e equipamentos utilizados estão sujeitos a normas federais de eficiência mínima (DOE, 2017). Existe um plano com a projeção de que os consumidores economizem mais de 545 US\$ bilhões, entre 2009 e 2030, na adoção dessas normas de eficiência mínimas, reduzindo assim o consumo de energia em 11.957,29 TWh e, conseqüentemente, das emissões de dióxido de carbono em mais de 2,26 bilhões de toneladas (DOE, 2017).

O custo médio nivelado de eletricidade economizada a partir dos programas de eficiência energética nos Estados Unidos é estimado em US\$ 46 por megawatt-hora (MWh), versus o custo nivelado da geração de eletricidade para a geração de ciclo combinado de gás natural, com sua sensibilidade aos preços dos combustíveis, que custa entre 52 a 78 US\$/MWh (DOE, 2017). Esses números demonstram que vale mais a pena promover eficiência energética do que construir novas usinas.

Percebe-se que as reduções de emissões de gases de efeito estufa (GEE), e outras melhorias ambientais do sistema para alcançar metas nacionais de eletricidade, exigirão condições adicionais, combinadas com inovação tecnológica acelerada. Em abril de 2015, todos os Estados dos EUA, incluindo a capital Washington, D.C., já tinham um padrão de portfólio de energia renovável. Entretanto, somente vinte e três dos cinquenta Estados americanos têm recursos financeiros investidos com foco em melhorias de eficiência energética. Comparando esses vinte e três Estados com os demais, verificou-se que aqueles que mantêm os investimentos em políticas reguladoras em eficiência energética e energias renováveis têm tido um maior crescimento.

A fim de promover investimentos em eficiência energética são utilizadas abordagens regulatórias (como os programas de etiquetagem de equipamentos), incentivos, além de contratos de desempenho de economia de energia, empréstimos para propriedades que têm possibilidade de instalação de geração de energia distribuída com foco em energia limpa, como a fotovoltaica, por exemplo (DOE, 2017).

O governo dos Estados Unidos considera que as políticas de eficiência energética têm foco em retardar o crescimento do consumo de energia elétrica e estão orientadas em regulamentações de construção de prédios, equipamentos padrões, além de etiquetagem e incentivos. Essas ações têm resultado em economias anuais estimadas a alcançar 0,8% em 2025 (DOE, 2017).

Os avanços tecnológicos e o crescimento contínuo do gerenciamento de energia, e da aplicação das medidas de eficiência energética nas indústrias de forma mais ampla, também têm desempenhado um papel importante na obtenção de níveis significativos de economia de energia.

Um grande número de políticas e programas de incentivos da economia americana ampliam as melhores práticas das empresas, e seu investimento em tecnologias energeticamente eficientes.

A nível federal, o Departamento de Energia (DOE) suporta custos compartilhados de pesquisa e desenvolvimento P&D de novas tecnologias eficientes e práticas aplicáveis a todos os setores de utilização de energia final, incluindo as tecnologias em sistemas de iluminação, refrigeração, ar condicionado e bomba de calor, sensores inteligentes e controles nos processos industriais.

O setor industrial americano é extremamente diversificado, o que inclui uma grande variedade de tamanhos de instalações desde sites pequenos a muito grandes, sendo o consumo de eletricidade desse setor responsável por 26% do total anual do consumo de eletricidade (DOE, 2017).

O consumo de eletricidade para os setores industriais, devido em parte as contínuas melhorias na eficiência de energia, sempre estiveram num mesmo patamar entre 1990 e 2014.

Alguns dados da administração de Informação de Energia (EIA) mostram um preço médio nacional anual de eletricidade para clientes industriais de US\$ 6,74 centavos/kWh versus US\$ 12,57 centavos/kWh para clientes residenciais, e US\$ 10,40 centavos/kWh para clientes comerciais (EIA, 2015).

Alguns subsetores de consumo intensivo de energia (por exemplo, na fabricação de metais e produtos químicos) têm as maiores oportunidades de melhoria de eficiência energética e, portanto, são foco dos principais esforços nacionais.

Verifica-se que os motores das máquinas utilizadas nas indústrias são responsáveis por 50% do total de energia consumida, os outros usos finais responsáveis pelo restante do consumo de energia são principalmente os processos de aquecimento e arrefecimento.

O foco na redução do preço dos produtos (aumento da competitividade) também fornece um incentivo econômico adicional com vistas a reduzir custos e aumentar produtividade, fazendo com que os donos das indústrias tomem a decisão de se auto financiar para adoção das medidas de eficiência energética

Segundo o documento intitulado *Transforming the nation's electricity System* (a transformação do sistema de eletricidade da nação, em tradução livre), do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) referente a janeiro de 2017, estima-se que há um potencial técnico para cogeração de aproximadamente 241 GW de capacidade nos Estados Unidos nos setores industrial e comercial. Isso representa um adicional de produção de energia elétrica de 8% no setor industrial

nos EUA, tornando-se alvo de atenção como oportunidades para soluções de curto prazo na redução de investimentos em geração de energia, referente ao consumo do ano de 2015 (DOE, 2017). Empresas privadas de serviços de energia (ESCOs) visam fomentar a aplicação de programas de eficiência energética.

Ao final deste capítulo é apresentado um resumo das Políticas Energéticas Industriais nos Estados Unidos (Quadro 2).

## **2.2**

### **Conclusões sobre as políticas de eficiência energética internacionais**

As experiências adquiridas nos estudos das políticas energéticas com foco nas indústrias internacionais foram resumidas no Quadro 2. Constatou-se a existência de quinze políticas de eficiência energética, voltadas especificamente para as indústrias.

Percebe-se que várias políticas são igualmente aplicadas com sucesso nos países estudados. Ao final deste capítulo é apresentado o resumo comparativo das políticas energéticas industriais verificadas por país estudado (Quadro 2).

**Quadro 2 - Resumo Comparativo das Políticas Energéticas Industriais Internacionais**

<b>Políticas Energéticas Industriais</b>	<b>União Europeia</b>	<b>China</b>	<b>Alemanha</b>	<b>EUA</b>
Barreiras para equipamentos eletrointensivos	X		X	
Acordos voluntários com indústrias eletrointensivas para adoção de ações de EE	X	X	X	
Programas de gestão de energia ( ex: auditorias Energéticas)	X	X	X	X
Adoção de financiamentos com melhores prazos e taxas	X	X	X	X
Incentivos fiscais	X		X	
Maior abrangência na implantação de etiquetagem	X		X	X
Maior disponibilidade de acesso a investimentos para produtos com tecnologias inovadoras	X	X	X	X
Linhas de financiamentos específicos para aplicação de soluções de EE	X	X	X	X
Incentivo a cogeração	X	X	X	X
Melhor informação e aconselhamento através de lista detalhada das descrições das medidas de EE			X	
Maior critério na aprovação de operação industrial com foco na diminuição das emissões de Gases de Efeito Estufa			X	
Redução da intensidade energética nacional		X		
Implantação de sistema de metas e responsabilidades para o monitoramento da evolução de programas de EE		X		
Redução do consumo de energia das 10.000 maiores indústrias		X		
Fomento de serviços de EE por empresas especialistas em contratos de performance ESCO's				X

Fonte: elaboração própria

### 3

## **As Políticas de Eficiência Energética no Brasil: foco na indústria**

Neste capítulo serão apresentadas todas as políticas de eficiência energética brasileiras. A experiência com a implantação de mecanismos e políticas relacionadas à promoção da eficiência energética remontam à década de 1980, mais especificamente 1984, com o lançamento do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Ao longo dos anos, diversas iniciativas foram conduzidas no Brasil com o foco em conservação de energia.

### **3.1**

#### **Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE (1984)**

O PBE é um protocolo de cooperação, que foi firmado em 1984 entre o Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), com intervenção do Ministério de Minas e Energia (MME), sendo coordenado pelo Inmetro e tendo como participantes os fabricantes dos Grupos Técnicos (CALILI, 2013).

Mais tarde, a partir da lei nº 10.295, publicada em 17 de outubro de 2001 (conhecida como a Lei de Eficiência Energética, o Inmetro) estabelece-se, de forma voluntária, programas de etiquetagem, através de programas de avaliação da conformidade compulsórios na área de eficiência energética. De acordo com o Art. 3º da Lei, “os fabricantes e os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar as medidas necessárias para que sejam obedecidos os níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética (...)” (BRASIL, 2001).

Verifica-se também, no Decreto 4.059 de 19 de dezembro de 2001, que regulamenta a Lei, especificamente no Art. 9º, que “o Inmetro será o organismo responsável pela fiscalização e pelo acompanhamento dos programas de avaliação da conformidade das máquinas e aparelhos consumidores de energia a serem regulamentados”.

Com esse reforço jurídico, o PBE direcionou seus programas de avaliação da conformidade para o campo compulsório, baseando-se no estabelecimento de níveis mínimos de eficiência energética direcionados pelo Comitê Gestor de Indicadores

e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), fórum interministerial criado pela Lei de Eficiência Energética.

O principal objetivo do PBE é promover a conservação de energia por meio de etiquetas informativas sobre o consumo de máquinas e equipamentos, havendo regulamentos técnicos específicos para cada máquina e equipamento. Este Programa incentiva a melhoria contínua do desempenho de eletrodomésticos, além de máquinas e equipamentos industriais, pois aqueles que possuem a etiqueta PROCEL apresentam melhor desempenho energético em sua categoria. O mesmo acontece com os equipamento e máquinas que consomem gás com o selo CONPET (CALILI, 2013).

### 3.2

#### **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL (1985)**

O Procel é um programa do Governo Federal vinculado ao MME, tendo sido criado em 30 de dezembro de 1985 por meio da Portaria Interministerial nº 1.877, executado pela Eletrobrás.

A missão do Procel é promover a eficiência energética, contribuindo para a melhoria da competitividade na indústria e para a redução nos impactos ambientais, fomentando o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes.

Já o Selo Procel Inmetro de Desempenho foi criado em 1998, em parceria com o Inmetro, e é concedido anualmente aos produtos nacionais ou estrangeiros, etiquetados pelo PBE. Esses produtos devem atender níveis mínimos de eficiência e qualidade definidos pelo Procel. Alguns exemplos de equipamentos que atualmente recebem o Selo Procel Inmetro: reservatórios térmicos, lâmpadas fluorescentes compactas, reatores eletromagnéticos para lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão e para lâmpadas fluorescentes tubulares e motores elétricos trifásicos standard e alto rendimento, com potências entre 1 e 250 cv (PROCEL; ENERGIA, 2013).

O PROCEL possui dez subprogramas. No que diz respeito ao PROCEL indústria, este tem por objetivo melhorar a eficiência energética industrial, atuando principalmente em sistemas motrizes (CALILI, 2013).

### 3.3

#### **Programa Nacional da Racionalização do uso dos derivados do Petróleo e Gás Natural – CONPET (1991)**

O CONPET é um programa do Governo Federal criado em 1991 por decreto presidencial, que tem por objetivo promover o desenvolvimento de uma cultura antidesperdício no uso dos recursos naturais não renováveis, estimular a eficiência no uso da energia em diversos setores, com ênfase nos transportes, nas indústrias e nas residências, além de desenvolver ações de educação ambiental, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para o desenvolvimento econômico e o bem-estar social. O programa é vinculado ao MME, cabendo à Petrobrás o apoio técnico e o fornecimento de recursos técnicos e administrativos.

Como resultado, o CONPET visa o uso eficiente de energia, a economia de divisas, a garantia da autossuficiência e a redução dos custos dos produtos e serviços do país. Por fim, visa elevar a produtividade e competitividade em diversos setores econômicos (CALILI, 2013).

### 3.4

#### **Programa de Eficiência Energética das concessionárias de energia elétrica – PEE ANEEL (2000)**

É através do PEE, instituído na Lei nº 9.991 de 24 de julho de 2000, que ficou estabelecido à época do seu lançamento que “as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 0,75% de sua receita operacional líquida (ROL) em pesquisa e desenvolvimento P&D do setor elétrico e, no mínimo, 0,25% em programas de eficiência energética no uso final” (ANEEL, 2013).

O objetivo do PEE é promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia, por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Para isso, busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada no âmbito desses programas. Procura-se, enfim, a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica (ANEEL, 2013).

Através da resolução nº 492, de 3 de setembro de 2002, ficou definido a obrigatoriedade da aplicação anual de, no mínimo, 0,50% da ROL em programas de eficiência energética no uso final de energia elétrica. Ficou também sinalizado, nessa resolução, que deveriam ser proferidas ações de medição direta para constatar redução de demanda e consumo de energia. Entre outras exigências regulatórias, a necessidade de comprovação de que os projetos devam apresentar uma Relação de Custo-Benefício<sup>7</sup> (RCB) de, no máximo 0,85, sendo que projetos de iluminação pública (IP), poderiam apresentar RCB de no máximo 1,00. Por fim, essa resolução determina que os equipamentos utilizados nos projetos de eficiência energética tenham selo PROCEL de eficiência e/ou PROCEL/INMETRO de desempenho e, ainda, que o custo das ações de marketing, quando necessárias, devam ser limitadas a 4% do valor total do Programa de Eficiência Energética.

A partir da resolução nº 176, de 28 de novembro de 2005, ficou definido que os projetos do PEE devem apresentar metodologia de avaliação, monitoração e verificação de resultados, baseada no Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP).

Além disso, o RCB passou a ser 0,80 para todos os tipos de projetos, e os resultados de economia de energia devem ser de, no mínimo, 0,10% do mercado consumidor de energia elétrica da Concessionária/Permissionária (CALILI, 2013).

Em janeiro de 2012 foi aprovada a Lei 12.212 (BRASIL, 2010), que alterou o art. 1º da Lei no 9.991, prorrogando o PEE para 31 de dezembro de 2015 (segundo a Lei 9991, a validade do PEE era até 2005). Outro aspecto relevante dessa Lei é que ela obrigou a aplicação de, no mínimo, 60% dos recursos do PEE nas distribuidoras em unidades consumidoras beneficiadas pela Tarifa Social.

No ano de 2013 foi publicado a Resolução Normativa 556, que aprovou os novos Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE). Segundo esse documento, podem fazer parte dos projetos executados no âmbito do PEE:

- Atividades de treinamento e capacitação ligadas à implementação de ações de eficiência energética que estimulem o uso mais eficiente da energia;

---

<sup>7</sup> A Relação Custo Benefício (RCB) é a razão entre os custos do investimento e os benefícios da economia na diminuição do consumo anualizados do projeto de eficiência energética no âmbito do PEE.

- Projetos educacionais visando difundir o conceito de eficiência energética e desenvolvimento sustentável na rede formal de ensino, promovendo a mudança de hábitos de consumo de energia;
- Apoio à implantação de projetos de gestão energética;
- Projetos Especiais, com ações demonstrativas em projetos Prioritários (como instrumento de políticas públicas de energia); Pilotos (buscando pioneirismo tecnológico e casos de sucesso); de Grande Relevância (para o atendimento de casos especiais e objetivos além do energético); e cooperativos (congregando várias distribuidoras, visando obter economia de escala e atuação regional);
- Avaliação constante e sistemática dos resultados obtidos, com redefinição das ações dentro do contexto de uma política nacional de eficiência energética;
- Divulgação do PEE, visando a mudança dos hábitos de consumo de energia elétrica e a transparência da aplicação dos recursos do Programa.

A Tabela 1 mostra alguns resultados do PEE até 2014. Pode-se notar que, do total de 1.312 projetos realizados, apenas quarenta, ou 3%, tinham foco na indústria. Nota-se ainda que cerca de 28%, ou 363 projetos, eram aplicados na Baixa Renda, por conta da Lei 12.212.

**Tabela 1** – Lista de resultados de Projetos aprovados do PEE até 2014

Tipologia	Energia Economizada Global (GWh/ano)	Demanda Retirada de Ponta Global (MW)	Projetos por Tipologia
Aquecimento Solar	22	13	33
Baixa Renda	2,114	789	363
Co-geração	70	9	5
Comércio e Serviços	68	20	163
Educacional	6	2	58
Gestão Energética Municipal	0	0	11
Industrial	127	8	40
Pelo lado da Oferta	1	0	1
Poder Público	366	78	365
Projeto Piloto	57	15	16
Residencial	486	149	70
Rural	32	16	56
Serviços Públicos	155	32	131
<b>Total</b>	<b>3,502</b>	<b>1,132</b>	<b>1,312</b>

Fonte: ANEEL (2014)

A Lei 13.280, de maio de 2016, alterou as Leis 9.991 e 12.212, não havendo mais obrigatoriedade de investimentos do recurso em 60% dos projetos dos clientes de Tarifa Social, ficando a cargo da distribuidora a decisão do montante de dinheiro a ser investido em projetos para esses clientes, limitado a 80% do montante de cada distribuidora. Além disso, essa Lei alterou a Lei no 9.991 e, no caso dos recursos de Eficiência Energética, caberá às concessionárias de energia 80% destes e o restante ao PROCEL (20%). Com essa nova Lei, a expectativa do mercado é de que se aumente o investimento das distribuidoras em projetos do setor industrial, além do investimento do Procel Indústria, que também terá mais recursos.

### 3.5

#### Lei de Eficiência Energética (2001)

A Lei da Eficiência Energética — Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001) — é considerada o principal marco regulatório sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia, que foi promulgada em 17 de outubro de 2001. O objetivo é a alocação eficiente dos recursos energéticos e a preservação do meio ambiente (CALILI, 2013).

É através do Poder Executivo que ficam estabelecidos os índices mínimos de eficiência energética ou máximos de consumo específico para máquinas e equipamentos que consumam energia, sendo instituído na Lei o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE). Este é composto pelo MME, MCT, MDIC, ANEEL, ANP, universidades e um cidadão brasileiro (BRASIL, 2001).

As competências do CGIEE são: elaborar regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia; estabelecer Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado; e constituir Comitês Técnicos para analisar e opinar sobre matérias específicas sob apreciação desse comitê, inclusive com a participação de representantes da sociedade civil (CALILI, 2013).

### 3.6

#### **Decreto 4508/2002 e Portaria MME/MDIC/MCTI 553 de 2005**

O Decreto nº 4.508, de 11 de dezembro de 2002, trata da regulamentação específica que determina os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de Indução Rotor Gaiola de Esquilo e os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimo de eficiência energética, dos demais aparelhos e máquinas, bem como define os programas de metas previstos no art. 2º da Lei nº 10.295 de 2001, com aprovação da CGIEE, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, sendo comercializados isoladamente, ou fazendo parte de outros equipamentos.

Nesse Decreto é descrita a caracterização do produto, os rendimentos nominais mínimos e procedimentos de ensaios, a especificação do conteúdo mínimo de informação na placa de identificação de acordo com a norma NBR 7094, da ABNT, a avaliação da conformidade e laboratórios quanto ao INMETRO, de acordo com o programa de etiquetagem (PBE), e outras exigências que podem ser verificadas em detalhe no decreto (CIVIL; GOMIDE, 2002).

Mais tarde, esse Decreto foi colocado em prática por meio da portaria Interministerial nº 553, de 8 de dezembro de 2005, que aprovou o estabelecimento do Programa de Metas que regulamenta os motores elétricos de indução trifásicos (MINISTERIOS, 2005).

- A Portaria do INMETRO nº 243, de 4 de setembro de 2009 aprova os Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) para motores elétricos trifásicos de Indução Rotor Gaiola de Esquilo, sendo esta revista em 8 de dezembro de 2010 pela Portaria do INMETRO Nº 488.

### 3.7

#### **Plano Nacional de Eficiência Energética PNEf (2011): foco na indústria**

O Plano Nacional de Energia 2030 (PNE2030), constituiu-se no primeiro documento oficial de planejamento energético integrado do governo brasileiro, apontando metas de eficiência energética de longo prazo para o país.

A elaboração do PNE 2030 foi retomada a partir da necessidade do planejamento do setor de energia, onde é incorporada a eficiência energética (EE) em seus estudos, e menciona a elaboração futura de um Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf).

O planejamento da eficiência energética passa, então, a partir do PNEf, a ser considerado pelos Planos Decenais de Energia (PDEs), pelo Plano Nacional de Energia (PNE), pelo Plano Nacional de Mudanças Climáticas e pelo Plano Nacional de Logística de Transportes no que diz respeito à energia, através de um relatório sobre as questões de Eficiência Energética, desenvolvido pelo Grupo de Trabalho Matriz Energética para o Desenvolvimento com Equidade e Responsabilidade Socioambiental, do Conselho de Desenvolvimento Econômico e Social, considerando a PDP – Política de Desenvolvimento Produtivo (MDIC, MF, ABDI, BNDES). (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011).

Em geral, as propostas de EE referem-se a ações de diversas naturezas que culminam na redução de energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob a forma de luz, calor/frio, acionamento, transportes e uso em processos. Como objetivo central, busca atender às necessidades da economia com menor uso de energia primária e, portanto, menor impacto na natureza.

O PNEf propõe um conjunto de ações e medidas, principalmente para os setores da indústria e de micro; pequenas e médias empresas; transportes; educação; Programa Brasileiro de Etiquetagem; edificações; prédios públicos; iluminação pública; saneamento; aquecimento solar de água; pesquisas e desenvolvimento (P&D); Medição e Verificação (M&V); parcerias internacionais; e financiamentos

de iniciativas. Além disso, as diretrizes da ISO 50001 serão incorporadas ao Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) como um dos mecanismos utilizados na economia do consumo de energia (CALILI, 2013).

A meta do PNEf é atingir uma economia acumulada de energia elétrica de 106 TWh/ano em 2030, o que representa 10% do consumo base (1.027 TWh), o equivalente à geração da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Segundo o plano, 50% desse resultado virá com a redução da demanda advinda de progresso autônomo, por iniciativa do mercado; os outros 50% por progresso induzido, estimulado por políticas públicas (CALILI, 2013).

Fazendo um comparativo com o que foi verificado referente às políticas energéticas internacionais, demonstra-se, no Quadro 3, que o esforço brasileiro em matéria de número de políticas energéticas já implantadas até o momento é similar, portanto muito pequeno, tendo em vista o que tem sido implantado com sucesso em outros países, com resultados favoráveis, como demonstrado no Quadro 2.

**Quadro 3 - Comparativo das Políticas Energéticas Brasileiras x Internacionais**

<b>Políticas Energéticas Industriais</b>	<b>BRASIL</b>
Barreiras para máquinas/equipamentos eletro intensivos	X
Acordos voluntários com industrias eletro intensivas para adoção de ações de EE	X
Programas de gestão de energia (ex: auditorias Energéticas)	
Adoção de financiamentos com melhores prazos e taxas	
Incentivos fiscais	
Maior abrangência na implantação de etiquetagem	X
Maior disponibilidade de acesso a investimentos para produtos com tecnologias inovadoras	
Linhas de financiamentos específicos para aplicação de soluções de EE	X
Incentivo a cogeração	
Melhor informação e aconselhamento através de lista detalhada das descrições das medidas de EE	X
Maior critério na aprovação de operação industrial com foco na diminuição das emissões de Gases de Efeito Estufa	
Redução da intensidade energética nacional	X
Implantação de sistema de metas e responsabilidades para o monitoramento da evolução de programas de EE	X
Redução do consumo de energia das 10.000 maiores industrias	
Fomento de serviços de EE por empresas especialistas em contratos de performance ESCO's	

Fonte: elaboração própria

### 3.8

#### **Proposta de novas políticas para o Brasil baseadas nas experiências internacionais**

Com base nas experiências internacionais demonstradas no Capítulo 1, verificou-se que a maioria dos países tem evoluído bastante em relação às políticas de eficiência energética para o setor industrial.

Já neste, quando foram elencadas todas as políticas de eficiência energética para o Brasil, verifica-se que há políticas adotadas em outros países, mas que ainda não são adotadas no Brasil. A maior diferença é que as políticas de EE brasileiras não são efetivadas, grande parte por falta de ações primordiais do governo, como incentivos fiscais e tributários, ou mesmo taxas de juros especiais para investimentos da troca de equipamentos antigos por mais eficientes. Além disso, são poucas as ações no sentido de se inserir a cultura de gestão energética no mercado, treinamentos em auditoria, avaliação de projetos, Medição e Verificação, dentre outros.

Assim como sugestão, propõe-se:

- Aplicação de políticas de EE industriais complementares, como incentivos fiscais, tributários e financiamentos com taxas juros e prazos mais acessíveis as indústrias e as ESCOs;
- Fomento e incentivos a inovações tecnológicas;
- Melhoria na comunicação, evidenciando-se a importância e as vantagens na adoção de medidas de eficiência energética;
- Fomento a programas de auditorias energéticas executados por empresas especializadas, que possam comprovar as economias no consumo de energia e redução da demanda, especialmente na ponta.

## 4

# Curvas de difusão tecnológica aplicadas à projeção de demanda de energia

### 4.1

#### Histórico

A inovação é o resultado de uma interação entre a descoberta científica, a difusão econômica e o poder político. Os sistemas de inovação têm o objetivo de desenvolver mais do que simples adaptações — as transformações que desafiam a compreensão analítica, assim como mudam o *status quo*. Conceitos são então reformulados, e o interesse em bons desempenhos passados é substituído pelo interesse na importância que o conhecimento obtido possui para o futuro. Em lugares onde a indústria tem amadurecido, a questão passou a ser como recombina o conhecimento atual em novas formas aperfeiçoadas com o intuito de atender exigências futuras (ETZKOWITZ, 2006; apud NETO, 2011).

A inovação tecnológica é a introdução na economia de novos conhecimentos ou de uma nova combinação de conhecimentos existentes. Isso significa que a inovação é resultado de um processo de aprendizado interativo. E, através de interações na economia, é possível obter novos conhecimentos ou uma nova combinação a partir de diferentes partes do conhecimento (EDQUIST, 2001; apud NETO, 2011).

SMITH (1979) foi o primeiro a reconhecer a relação entre mudança tecnológica e crescimento econômico, identificando duas inovações que favoreciam o crescimento da produtividade, ao observar as mudanças estruturais que ocorriam na Inglaterra, no século XVIII: a divisão do trabalho e o desenvolvimento da maquinaria (NETO, 2011).

As grandes mudanças tecnológicas são acompanhadas de transformações econômicas, sociais e institucionais, pois a tecnologia não se difunde no vácuo. A inovação necessita de regimes jurídicos, motivação econômica e condições político institucionais adequados para desenvolver-se (TIGRE, 2006; apud NETO, 2011).

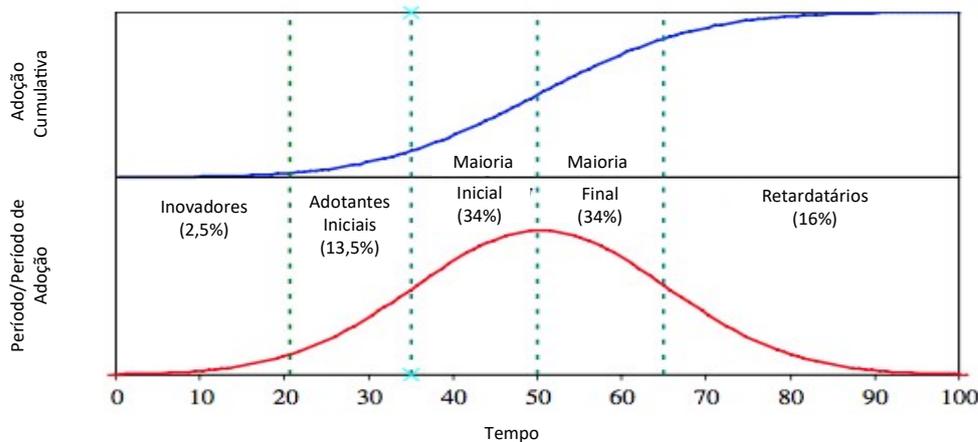
O fenômeno da difusão da inovação pode ser demonstrado de forma estilizada na Figura 2, tanto a adoção cumulativa quanto por período de adoções.

A importância da representação desse gráfico depende da aplicação, podendo ser a adoção cumulativa para questões do planejamento de infraestrutura, por

exemplo, ou o interesse pela demanda de um determinado equipamento, daí a necessidade do conhecimento detalhado das previsões de adoções por período.

Neste caso, o provedor do equipamento vai querer entender o nível de aprovação em um determinado tempo e o eventual número de adotantes, qual taxa de aprovação em um determinado momento, o momento de pico e a magnitude da demanda pico, por exemplo (MEADE; ISLAM, 2006).

**Figura 2 - Curva de difusão da inovação**



Fonte: (Adaptado de MEADE, 2006)

A curva de difusão tecnológica pode ser usada na análise da maturidade tecnológica, na qual a evolução temporal da quantidade de artigos científicos, patentes e, eventualmente, produtos baseados em uma dada tecnologia são representados em uma escala de tempo (NETO, 2011).

As mudanças tecnológicas seguem uma trajetória que resulta na inovação. Essas trajetórias são construídas baseadas no paradigma tecnológico dominante e contemporâneo à mudança. Considerando que a inovação é uma atividade seletiva e que possui uma finalidade precisa, a trajetória tecnológica é um mecanismo que seleciona as alternativas tecnológicas possíveis para alcançar essa finalidade (MACULAN, 2011).

Os modelos de difusão tecnológica assumem que o crescimento e/ou a aceleração da adoção de uma determinada tecnologia ou uma inovação depende do potencial total de adoção dos consumidores e do percentual de crescimento. Estes podem ser representados por diversos modelos, mas o mais adotado na literatura de

eficiência energética é o modelo de Bass, sendo representado pela Equação 1, que se refere como o modelo de difusão com influencia interna (BASS, 1967).

$$\frac{dN}{dt} = b N(t) (N^u - N(t)) \quad (1)$$

Onde  $N(t)$  representa a adoção cumulativa do tempo ( $t$ ) e  $N^u$  representa o potencial final;  $b$  é o coeficiente de difusão.

Quando a difusão é influenciada por questões externas, é utilizada a Equação 2 (BASS, 1967):

$$\frac{dN}{dt} = [a (N^u - N(t))] \quad (2)$$

Onde  $N(t)$  é a adoção cumulativa no tempo ( $t$ ) e  $N^u$  representa o potencial final;  $a$  é o coeficiente de difusão. Portanto, existe um modelo de influência que possui os três parâmetros que, considerando as duas equações acima, trata-se da Equação 3, que primeiro apresenta o crescimento de aquisição e depois a duração do novo produto no mercado (BASS, 1967):

$$\frac{dN}{dt} = \left[ p + \frac{q}{m} (N(t)) \right] [m - N(t)] \quad (3)$$

Onde  $p$  representa o coeficiente da inovação (na equação acima),  $q$  é o coeficiente de imitação ( $b$  na equação acima =  $q/m$ ) e  $m$  é o potencial total.

As curvas de difusão tecnológica serão usadas neste trabalho, pois uma tecnologia mais eficiente pode ser encarada como uma nova tecnologia entrante no mercado de energia. A entrada dessa tecnologia no mercado depende de políticas públicas como desoneração, descontos nas tarifas e/ou impostos, dentre outras, podendo, assim, entrar de forma mais rápida ou mais lenta conforme estas políticas sejam adotadas.

## 4.2

### Modelos previsão da demanda de energia *Top-down* e *Bottom-up*

Os modelos de previsão de demanda de energia normalmente são diferenciados em dois grandes grupos, em relação às filosofias de modelagem. Podem ser do tipo *top-down* (de cima para baixo, em tradução livre), que tendem a representar a visão dos economistas, ou *bottom-up* (de baixo para cima, em tradução livre), que são construídos sobre uma filosofia de engenharia (FLEITER; WORRELL; EICHHAMMER, 2011). Neste trabalho, por considerar o impacto das curvas de difusão tecnológica no consumo de energia, se dará ênfase aos modelos *bottom-up*.

É nos modelos *bottom-up* que as considerações das tecnologias são mais detalhadas, o que significa afirmar que nesse modelo permite-se a modelagem do impacto de tecnologias distintas, bem definidas sobre o desenvolvimento a longo prazo de consumo de energia. É nele também que se tem o potencial para modelar os efeitos da tecnologia orientada e pré-configuradas. O que é chamado de *políticas orientadas para a tecnologia de todos os tipos*.

Os modelos *bottom-up* são tradicionalmente baseados em uma representação detalhada de utilizações finais de energia como aquecimento, iluminação, energia mecânica ou em calor de processo.

A evolução das utilizações da energia considera medidas de eficiência energética ao longo do tempo e determinam a energia da demanda futura.

Segundo (FLEITER; WORRELL; EICHHAMMER, 2011) são identificados três fatores que influenciam a adoção de tecnologia na maioria dos modelos *bottom-up*, independentemente de como são representadas as tecnologias no modelo:

- disponibilidade de tecnologias;
- os custos financeiros; e
- as regras de decisão operacional.

## 4.3

### Cenários de difusão tecnológica

No caso da difusão tecnológica são usados cenários alternativos através de curvas com diferentes trajetórias para a difusão das Medidas de Eficiência Energéticas (MEE). A comparação das trajetórias permite aprender sobre o impacto

do potencial das MEE na demanda de energia. Tipicamente, os potenciais de economia de energia são avaliados por meio da difusão das MEE, alterando a velocidade de difusão tecnológica. São quatro os cenários das trajetórias:

- Difusão na linha de base (*Frozen Efficiency*): quando a intensidade de energia permanece no nível do ano de início, sendo usada como patamar de referência mínima para estimar os potenciais de melhoria da MEE;
- Difusão Autônoma (*Autonomous Diffusion*): assume que as barreiras à difusão tecnológica permaneçam elevadas no futuro e representam uma extrapolação de tendências passadas. As taxas de difusão são entradas exógenas ao modelo e são tipicamente mais baixas do que seriam se as empresas decidissem somente em bases de custo-efetivo. A Difusão Autônoma não é sensível a preços e representa o limite inferior para a difusão de custo-efetivo (PHYLIPSEN et al., 2002);
- Difusão Induzida (*Cost-effective Diffusion*): este cenário de difusão, também conhecido por custo-efetivo, é calculado endogenamente baseado no custo das medidas de eficiência energética (MEE) e em certas suposições de decisão de investimento das empresas;
- Difusão Máxima (*Technical Diffusion*): não inclui considerações de custo, e também é abalizada em entradas exógenas. Baseia-se somente em cenários técnicos. Portanto, pode ser denominada difusão técnica “realista”, e representa o limite superior para a difusão induzida (custo-efetivo). É a expectativa de entrada de novas tecnologias que terão impacto profundo no consumo de energia futuro.

É assumido que as empresas investem baseadas no *payback* — tempo de recuperação do investimento — das MEE. Assim, quanto maior o tempo de recuperação do investimento, mais próxima da Difusão Autônoma a curva estará. Em contrapartida, quanto menor o tempo de recuperação do investimento, mais próxima da Difusão Máxima a curva se posicionará.

O cálculo do retorno do investimento, *payback*, é feito através da Fórmula da Equação 4 (ISI; TEP; IREES, 2013):

$$PBT_{so,c,t} = \frac{C_{t,so}^I}{C_{t,so,c}^E + C_{t,so,c}^{Bra} - C_{t,so}^R} \quad (4)$$

Onde:

$C^I$  = Custo do Investimento inicial no tempo  $t$

$C^E$  = Custo da economia de energia

$C^{BRA}$  = Custo brasileiro dos subsídios economizados

$C^R$  = Custo de mitigação de opção de funcionamento no país  $R$

$so$  = Medida de eficiência energética MEE

Pode-se considerar a heterogeneidade entre as empresas como os diferentes níveis de eficiência energética, diferentes preços de energia, variação do custo na aplicação das MEE, influenciando no aumento do *payback*. Essa fórmula é baseada em um modelo de crescimento logístico, conforme a Equação (ISI; TEP; IREES, 2013):

$$f(PB) = 1 - \frac{N}{1 + \frac{N-f(0)}{f(0)} e^{-PB\beta}} \quad (5)$$

Onde:

$N$  = Quota máxima de difusão técnica para o *payback* igual a zero (normalmente = 1)

$PB$  = Tempo de *payback* da MEE

$f(0)$  = valor inicial por parte de difusão técnica para  $PB = 0$  (quota máxima)

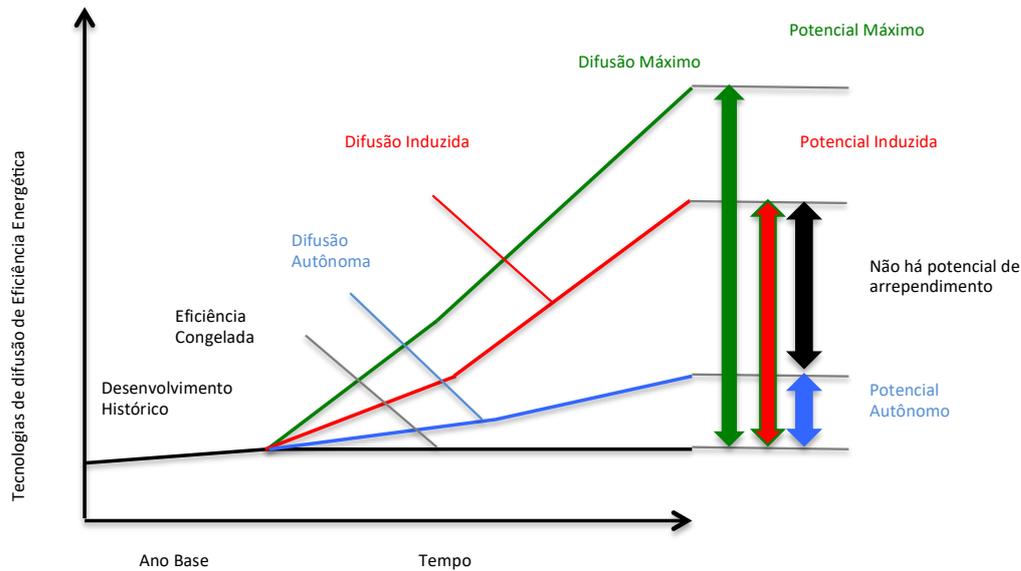
$\beta$  = Coeficiente logístico  $\beta$

Assim, a Difusão na Linha base (*Frozen Efficiency*) e a Difusão Máxima (*Technical Diffusion*) representam os limites inferior e superior, enquanto a Difusão Induzida varia entre essas duas de acordo com o cenário energético (nas esferas política e econômica), representado na Figura 3.

Dessa forma, as MME podem traduzir-se em curvas de difusão tecnológica, uma vez que se tratam de medidas de efficientização relacionadas a tecnologias conhecidas ou que ainda podem entrar no mercado. Os valores da difusão tecnológica podem ser definidos explicitamente, ou através de uma função

logística. Assim, quando os valores de difusão para determinadas etapas (discretizações anuais, por exemplo) são definidos explicitamente, sugere-se utilizar interpolação linear entre estas.

**Figura 3** - Curvas de Difusão tecnológicas com os 4 Cenários.



Fonte: (ISI; TEP; IREES, 2013) - adaptado pelo autor

A segunda abordagem utiliza uma função logística para calcular os valores da curva de difusão para cada MEE, sendo necessária a especificação dos parâmetros desta função. Não há diferença entre a Difusão Autônoma e a Máxima no ano de calibração como valor inicial.

No caso da difusão autônoma no tempo  $(t)_m$  tem-se a Equação 6 (ISI; TEP; IREES, 2013):

$$d_{aut,m} = \frac{D_{aut,s} * D_{aut,n} * e^{K_{aut}(tm-ts)}}{D_{aut,n} + D_{aut,s} * (e^{K_{aut}(tm-ts)} - 1)} \quad (6)$$

Onde:

$d_{aut,m}$  = valor calculado de difusão autônoma no período  $t_m$

$D_{aut,n}$  = fornecido valor-alvo para a difusão autônoma no período  $tn$

$D_{aut,s}$  = valor inicial fornecido pela difusão autônoma no primeiro período  $t_s$

$K_{aut}$  = parâmetro de forma, define a inclinação da curva logística para a difusão autônoma

$t_s$  = primeiro período

$t_m$  = período atual

$t_n$ : = período anterior

No caso da Difusão Máxima no tempo (t)b tem-se a Equação 7 (ISI; TEP; IREES, 2013):

$$d_{max,m} = \frac{D_{max,b} * D_{max,n} * e^{Kmax(tm-tb)}}{D_{max,n} + D_{max,b} * (e^{Kaut(tm-tb)} - 1)} \quad (7)$$

Onde:

$d_{max,b}$  = valor calculado de difusão máxima no período  $tb$  (ano de calibração)

$D_{max,n}$  = fornecido valor-alvo para a difusão máxima no período  $tn$

$Kmax$  = parâmetro de forma, define a inclinação da curva logística para a difusão máxima

$tb$  = primeiro período (ano de calibração)

$tm$  = período atual

$tn$  = último ano para a curva logística

O critério de Difusão Induzida num determinado custo de EEI (c) numa relação *Cost-Effectiveness* de uma MEE para um dado ano é determinada com base no fluxo de caixa nesse ano.

É calculado como o custo total (ou líquido) (c) no ano  $t$  dividido pela economia de energia anual induzida no ano  $t$  (ES). Os custos específicos para EEI (c) são semelhantes ao custo de energia conservada. A única diferença é que a poupança de custos de energia já é considerada nos custos específicos à medida que

é calculado. Isso é necessário, porque considera-se um número de diferentes portadores de energia com preços diferentes e não possível desagregá-los em uma fase posterior, tem-se a Equação 8 (ISI; TEP; IREES, 2013):

$$C_{t,MEE,c} = \frac{C_{t,MEE,c}}{\sum_{ec=1}^n ES_{t,MEE,c,ec}} \quad (8)$$

Os custos anuais totais para EEI ( $C$ ) no ano  $t$  são calculados como anuidades e compreendem os custos de investimento ( $C^I$ ), os custos de funcionamento ( $C^R$ ), os custos de energia economizados ( $C^E$ ), bem como os custos poupados para os certificados de emissão ( $C^C$ ). Os custos de investimento são anualizados usando o tempo de vida da MEE e a taxa de desconto  $r$ . A taxa de juros é frequentemente usada em modelos de demanda de energia para considerar barreiras à implementação de uma MEE no cenário de Difusão Induzida (*Cost- Effectiveness*), conforme Equação 9 (ISI; TEP; IREES, 2013):

$$C_{t,MEE,c} = C_{t,MEE,c}^I * \frac{(1+r)^{Lt MEE} * r}{(1+r)^{Lt MEE} - 1} + C_{t,MEE,c}^R - C_{t,MEE,c}^E - C_{t,MEE,c}^C \quad (9)$$

O cálculo dos custos de investimento com base nos custos específicos do ano  $t$  ( $cI$ ) e do potencial de poupança total no ano  $t$  ( $ES$ ) também pode ser usado como uma simplificação, uma vez que a poupança no ano  $t$  resulta também de investimentos em períodos anteriores, quando os custos de investimento específicos poderiam ter sido maiores, conforme Equação 10 (ISI; TEP; IREES, 2013):

$$C_{t,MEE}^I = c_{t,MEE}^I * ES_{t,MEE} \quad (10)$$

A economia de energia anual ( $ES$ ) de uma Medida de Eficiência Energética no período  $t$  para um cenário ( $Sc$ ) é calculada baseada num potencial de economia específico ( $SP$ ), a difusão ( $Dif$ ) da medida de eficiência energética no período ( $t$ ) e a produção industrial ( $IP$ ) do processo relativo ( $p$ ), conforme a Equação 11 (ISI; TEP; IREES, 2013):

$$ES_{t,p,MEE,Sc} = SP_{MEE} * (Dif_{t,MEE,Sc} - Dif_{ts,MEE}) * IP_{tp} \quad (11)$$

Existem diversas barreiras que dificultam a implantação de ações de eficiência energética, diferindo-se entre empresas e setores. A modelagem de políticas de eficiência energética é o principal objetivo que consideram essas barreiras nos cenários. Pode-se citar algumas barreiras importantes para que as empresas tomem as decisões de adesão de medidas de eficiência energética, como os custos dos investimentos ou os custos de energia.

É através das MEE que são realizadas as melhorias de eficiência energética, por meio de melhorias tecnológicas ou pela substituição de equipamentos velhos por novos. Percebe-se que as melhorias das ações de tecnologia atuais dependem, em parte, dos patamares de preços/tarifas de energia. Assim, a adoção de MEE pelas empresas dependem, em parte, desses patamares de preços. Quanto mais altos os preços, maior é a probabilidade de as empresas investirem em novas tecnologias, mais eficientes, tendo estas reduzido os seus custos de operação relativos a parcelas de consumo de energia e demanda de potência.

A modelagem *bottom-up* considera dois tipos de MEE a ser adotadas nas indústrias. As tecnologias comuns a todos os setores e processos das indústrias são denominadas tecnologias transversais ou CCT's (*Cross Cutting Technologies*), como, por exemplo, os sistemas de iluminação, sistemas motrizes, sistemas de ar comprimido etc. Já as MEE ligadas a melhoria de processos específicos da indústria, que pode ser troca de equipamento ou melhoria de gestão, são considerados no modelo *bottom-up*, segundo a metodologia de difusão tecnológica autônoma ou induzida.

Para a estimativa do consumo em modelos *bottom-up* são necessárias algumas informações sobre os custos de investimento e os custos de energia economizados e produção. Devido ao alto consumo de energia nas indústrias, estas estão migrando para o mercado livre de energia. E por se tratar de parcela importante da modelagem *bottom-up*, sobretudo para estimativa das curvas de difusão tecnológica, é importante entender como se comportam os preços das tarifas neste mercado.

Os preços no mercado livre de energia no Brasil podem ser considerados uma proxy do mercado de curto prazo, que são disponibilizados semanalmente pela CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica). Os preços no mercado de curto prazo são denominados PLD (Preço de Liquidação das Diferenças) e

calculados considerando três patamares de carga (Pesada, Média e Leve) para cada submercado do sistema elétrico brasileiro, conforme apresentado na Figura 4.

O PLD é calculado considerando informações previstas de disponibilidade e carga para as semanas que se iniciam aos sábados e terminam às sextas-feiras, podendo conter dias de dois meses adjacentes (base ex-ante). Os preços servem de base de cálculo para a liquidação de toda a energia não contratada entre os agentes.

Figura 4 - Cálculo do PLD em MWh por região (5ª semana de março de 2017)



Fonte: (CCEE, 2017)

## 5

# Cenários de difusão da eficiência energética no Brasil: o caso da indústria de Alimentos e Bebidas

## 5.1

### A indústria de Alimentos e Bebidas

Neste capítulo serão apresentados os resultados da simulação e os impactos de tecnologias no setor de alimentos e bebidas, que foi escolhido por ser um setor que faz uso elevado de energia elétrica no Brasil.

#### 5.1.1

#### O setor industrial no cenário brasileiro

No ano de 2015, o setor industrial foi responsável por 37,61% do consumo de energia elétrica do Brasil (EPE, 2016). A eletricidade é usada na indústria para iluminação, movimentação (sistemas motrizes), aquecimento, resfriamento, equipamentos eletrônicos etc.

A Eletrobrás, por meio do PROCEL Indústria, focaliza suas atividades em sistemas motrizes, uma vez que boa parte desse uso final da eletricidade é responsável por cerca de 68% (incluindo refrigeração) do consumo de energia elétrica do setor industrial.

O consumo energético total da indústria no Brasil considera a participação de todas as fontes energéticas. No subsetor de Alimentos e Bebidas, a eletricidade utilizada em processos como o de aquecimento direto e calor de processo representa cerca de 77% do consumo do setor (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011).

Projeta-se uma conservação de 4,5%, prevista para 2021, para a demanda de eletricidade industrial. Isso equivale a aproximadamente 17,9 TWh, conforme apresentado na Tabela 2. Esse montante conservado em 2021, por exemplo, equivale a mais de 90% do consumo de eletricidade da indústria de papel e celulose — 19,1 TWh no ano de 2011 (EPE, 2016a).

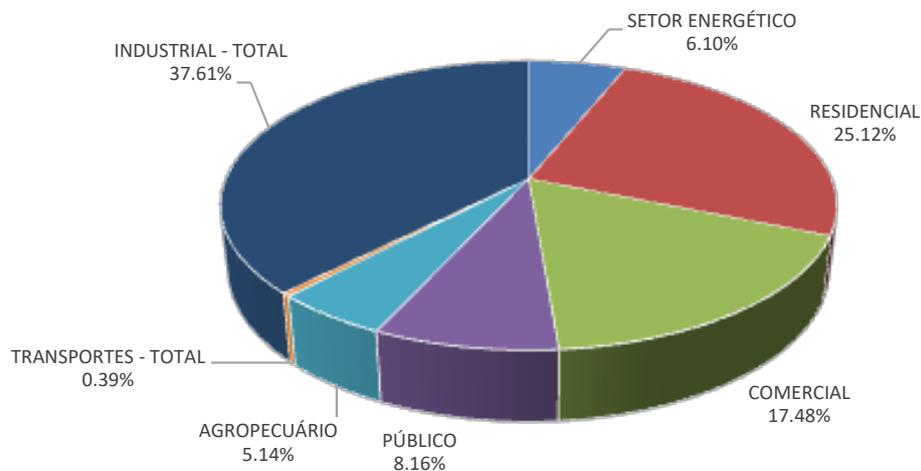
**Tabela 2 - Setor Industrial: consumo de eletricidade e conservação de energia**

	2012	2016	2021
<b>Consumo</b>			
Consumo sem conservação, GWh	248.150	317.809	402.125
Energia elétrica conservada, GWh	1.855	8.106	17.907
Energia elétrica conservada, %	0,8	2,6	4,5
Consumo com conservação, GWh	246.295	309.703	384.218
<b>Intensidade elétrica</b>			
Sem conservação, kWh/10.000 R\$ (2010)	272	283	280
Com conservação, kWh/10.000 R\$ (2010)	270	276	267

Fonte: (EPE, 2016a)

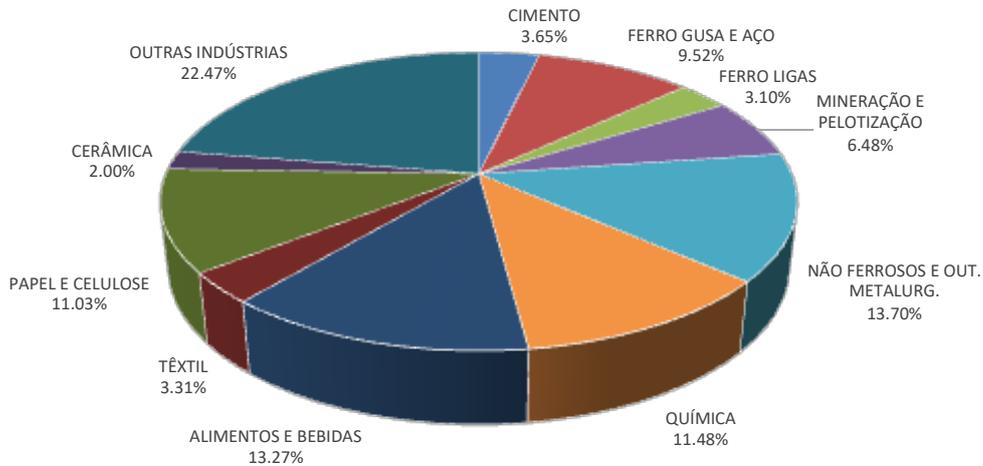
Nota: Inclui o setor energético

Na Figura 5, mostra-se a distribuição do consumo elétrico dos principais setores brasileiros em 2015, sendo que o setor industrial representa 37,61% do consumo elétrico total no Brasil (EPE, 2016).

**Figura 5 – Distribuição do Consumo Elétrico dos principais setores**

Fonte: (EPE, 2016)

Na Figura 6, mostra-se a distribuição do consumo elétrico nos principais subsetores industriais brasileiros em 2015, sendo que o de alimentos e bebidas representa 13,27% do consumo elétrico (EPE, 2016).

**Figura 6** – Distribuição do Consumo Elétrico dos subsetores Industriais

Fonte: (EPE, 2016a)

### 5.1.2 O Setor de Alimentos e Bebidas no Brasil

A indústria de alimentos e bebidas é uma das principais indústrias de transformação do Brasil e, em termos de valor bruto de produção, ocupa a primeira posição (ABIA, 2008).

Com um universo de 42 mil plantas industriais instaladas, a produção agrega mais de 850 tipos de produtos, sendo o segmento de alimentos responsável por 84,5%, e o de bebidas por 15,5% da produção nominal brasileira.

Na indústria de alimentos e bebidas, os principais processos/equipamentos consumidores de energia térmica para uso final são os secadores e os fornos, na forma de aquecimento direto.

Já para calor de processo, são o cozimento, destilação, evaporação, pasteurização/esterilização, e principalmente a limpeza (lavagem a quente de máquinas e instalações, frequentemente com água em pressão elevada).

O principal processo consumidor de energia térmica elétrica é a refrigeração (resfriamento e congelamento, condicionamento de ar). Já para a força motriz são extrusão, moagem, trituração ou pulverização e mistura.

Segundo o documento do PROCEL (ROCHA; BAJAY; GORLA, 2010), neste tipo de indústria existem processos diferenciados entre os segmentos de

alimentos e os de bebidas que podem ser subdivididos, destacando-se, entre o de alimentos:

- Beneficiamento, moagem e torrefação de produtos alimentares;
- Produção de conservas de bens vegetais;
- Abate de animais e a produção de conserva de carnes;
- Atividades de pesca e correlatas;
- Beneficiamento de leite e fabricação de laticínios;
- Fabricação e refino de açúcar;
- Produção de balas, chocolates e produtos afins;
- Produção de artigos de padaria;
- Fabricação de massas alimentícias e biscoitos;
- Refino e a preparação de óleos comestíveis;
- Fabricação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais.

Entre os segmentos de bebidas, destacam-se:

- Produção e engarrafamento de bebidas alcoólicas: cervejas, chopes, maltes, vinhos, aguardentes etc.;
- Produção e engarrafamento de bebidas não alcoólicas: refrigerantes e sucos concentrados;
- Gaseificação e engarrafamento de águas minerais.

Segundo o Balanço de Energia Útil do MME (EPE, 2016a), os principais usos finais da energia consumida na indústria de alimentos e bebidas, excluindo a fabricação de açúcar, foram:

- na forma de calor de processo;
- aquecimento direto;
- força motriz; e
- refrigeração.

A água quente ou o vapor gerado em caldeiras geralmente são usados nos processos de fabricação da indústria de alimentos e bebidas, bem como os fornos, secadores e equipamentos de refrigeração. Portanto, considera-se a força motriz e a refrigeração os principais usos finais da eletricidade (EPE, 2015).

Registrando que, em 2015, o segmento de alimentos e bebidas foi o responsável por 26,08 TWh (13,27%) do consumo total de energia da indústria brasileira — que foi de 196,61 TWh, 37,61% do total do consumo de energia no Brasil (522,08 TWh), conforme apresentado nas Figuras 6 e 7 (EPE, 2016).

Na indústria de alimentos, os segmentos que se destacam por sua importância econômica, ou por seu elevado consumo de energia, são os de derivados de carnes; na indústria de bebidas, é o segmento de leite (ROCHA; BAJAY; GORLA, 2010).

A Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Conservação de Energia (Abesco) estimou, em 2006, um potencial de economia de energia de 10% na indústria de alimentos e bebidas nacional (MOURA, 2006).

Aplicando os dados de distribuição do consumo energético por usos finais e de rendimentos energéticos médios e de referência levantados pelo Balanço de Energia Útil do Ministério de Minas e Energia, revelou-se que a indústria de alimentos e bebidas brasileira tem um potencial técnico de conservação de energia de 6,2%, associada somente à troca dos equipamentos atuais por outros mais eficientes (ROCHA; BAJAY; GORLA, 2010). Sendo que a maior parte dessa economia potencial (83,8%) se situava no uso final de calor de processo.

Dependendo do cenário adotado para o crescimento da economia brasileira para os próximos anos, existem estudos do Plano Nacional de Energia 2050, referentes à eficiência energética, que projetaram ganhos de eficiência elétrica na indústria brasileira que se situam na faixa de 3% (2020) a 12% (2050), considerando a eficiência autônoma e induzida e o ganho acumulado a partir de 2013, o que equivale a 72 TWh em 2050 para todo o setor industrial (EPE, 2016). Dessa forma, leva-se a crer que os principais potenciais de economia no consumo de energia elétrica são:

- na troca de motores velhos, ineficientes ou superdimensionados;
- na instalação de motores de alto rendimento;

- no uso de controladores de velocidade em certas aplicações envolvendo, por exemplo, o acionamento de bombas, ventiladores ou compressores com regimes de operação variáveis;
- na troca de equipamentos visando melhorias nos coeficientes de performance de instalações de refrigeração.

Foi observado também que existem cadeias, como as de pescados e a de cacau, chocolate, balas e doces, que consomem pouca energia, enquanto que cadeias como as de bebidas, abate de carnes e rações para animais consomem muita energia e possuem bons potenciais de conservação de energia.

O setor de alimentos e bebidas pode ser considerado pulverizado e fragmentado, nesse contexto podem existir algumas barreiras à implantação de ações em eficiência energética. Dentre as principais barreiras encontradas no subsetor de alimentos e bebidas destacam-se a falta de incentivos, a falta de financiamentos, a ausência de estrutura legal e de incentivos fiscais para cogeração ou produção de energia independente e a indisponibilidade de determinadas tecnologias para pequenas e médias empresas.

### **5.1.3 Processos da indústria de Alimentos e Bebidas**

Na busca de análise dos cenários obtidos pelas equações das curvas de difusão tecnológica, para mensurar os resultados das políticas energéticas na economia de energia elétrica, foram avaliados dois processos para verificar a velocidade na adoção de medidas de eficiência energética, por estes grandes consumidores de eletricidade. Foram feitas análises de cenários obtidos pelas equações das curvas de difusão tecnológica apresentadas no capítulo anterior. Na indústria de alimentos, foi analisado o processo de otimização do resfriamento no segmento de processamento de carne e, na de bebidas, o processo de homogeneização parcial no segmento de produtos lácteos.

Esses dois processos fazem parte do grupo do uso elevado de eletricidade, e serviram de base para os cálculos e análises de cenários utilizando-se a curva de difusão tecnológica, pois comprovam a grande oportunidade de economia, o que é demonstrado por segmento na Figuras 8 e 9. Pode-se verificar também que,

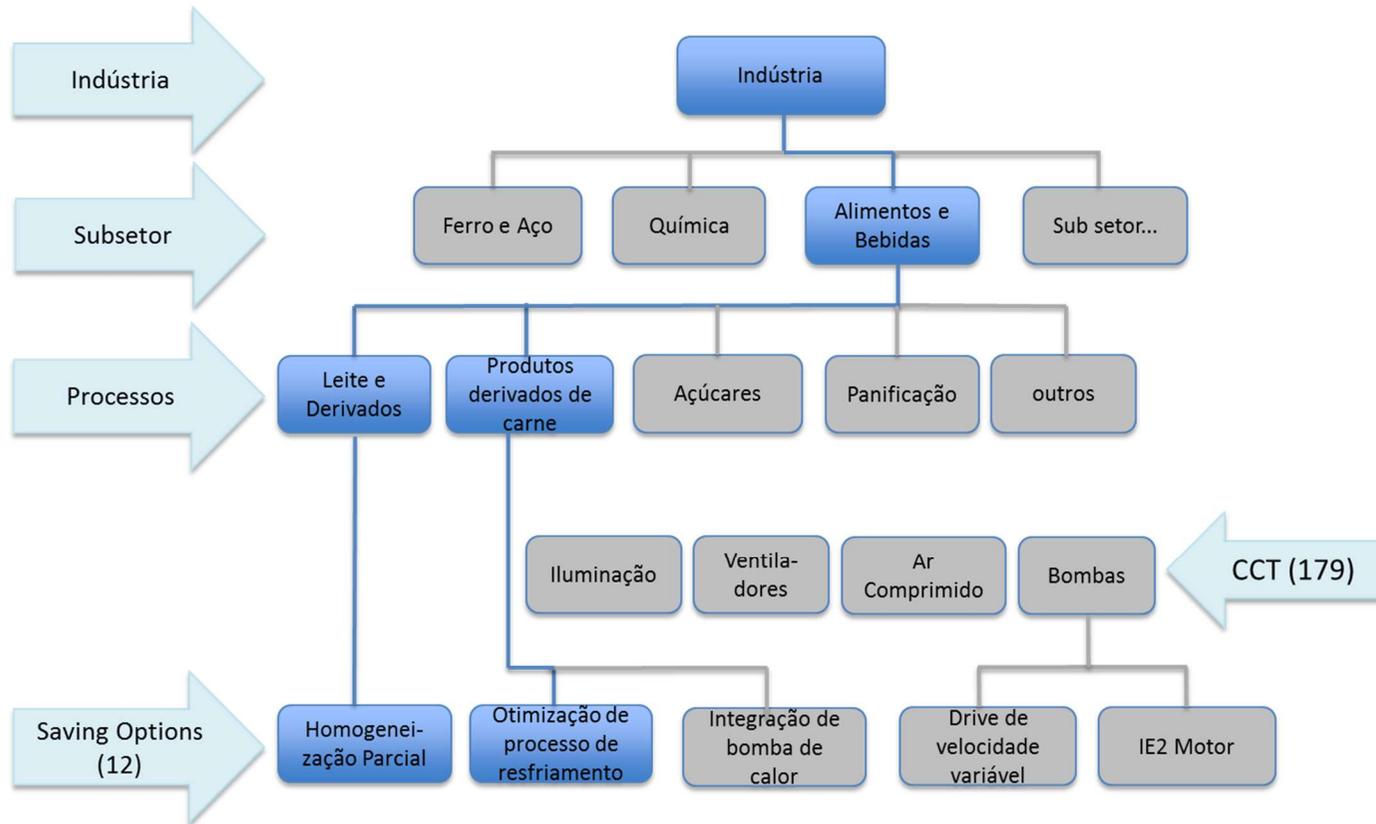
variando os parâmetros, as curvas de Difusão Induzida entre 0,1 a 0,9, as curvas representam os cenários da evolução desta difusão, que são uma combinação linear entre a Difusão Autônoma e a Difusão Máxima.

Vale ressaltar que outras MME poderiam ter sido simuladas. Entretanto, escolheu-se aquelas relacionadas a processos que consomem eletricidade. Outro ponto importante da modelagem *bottom-up* é que as curvas de difusão tecnológica são consideradas para os processos, mas não para as tecnologias transversais.

Para calcular as curvas de Difusão Máxima, Autônoma e Induzida, utilizou-se uma função logística com os valores da curva de difusão para cada MEE, sendo necessária a especificação dos parâmetros desta função. As informações de cada MME de cada subsetor da indústria são calculadas através das Equações 6, 7, 8, 9 e 10.

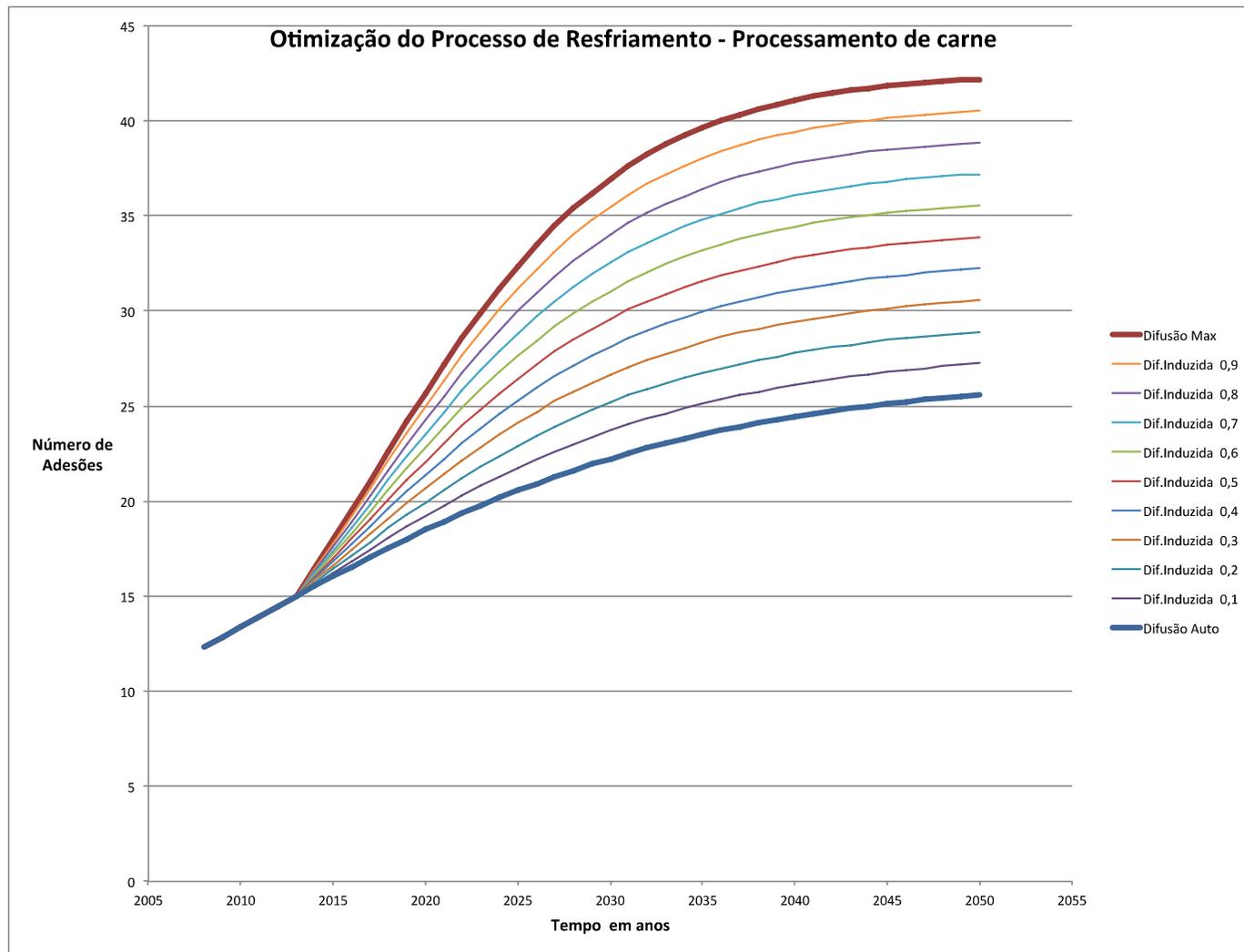
Os resultados dos cálculo das curvas de difusão tecnológica da MEE de Otimização do Processo de Resfriamento – Processamento de carne e do processo de Homogeneização Parcial – Produtos Lácteos, podem ser verificados nos apêndices nas Figuras A1 e A2.

**Figura 7** – Estrutura esquemática dos processos estudados da indústria de alimentos e bebidas



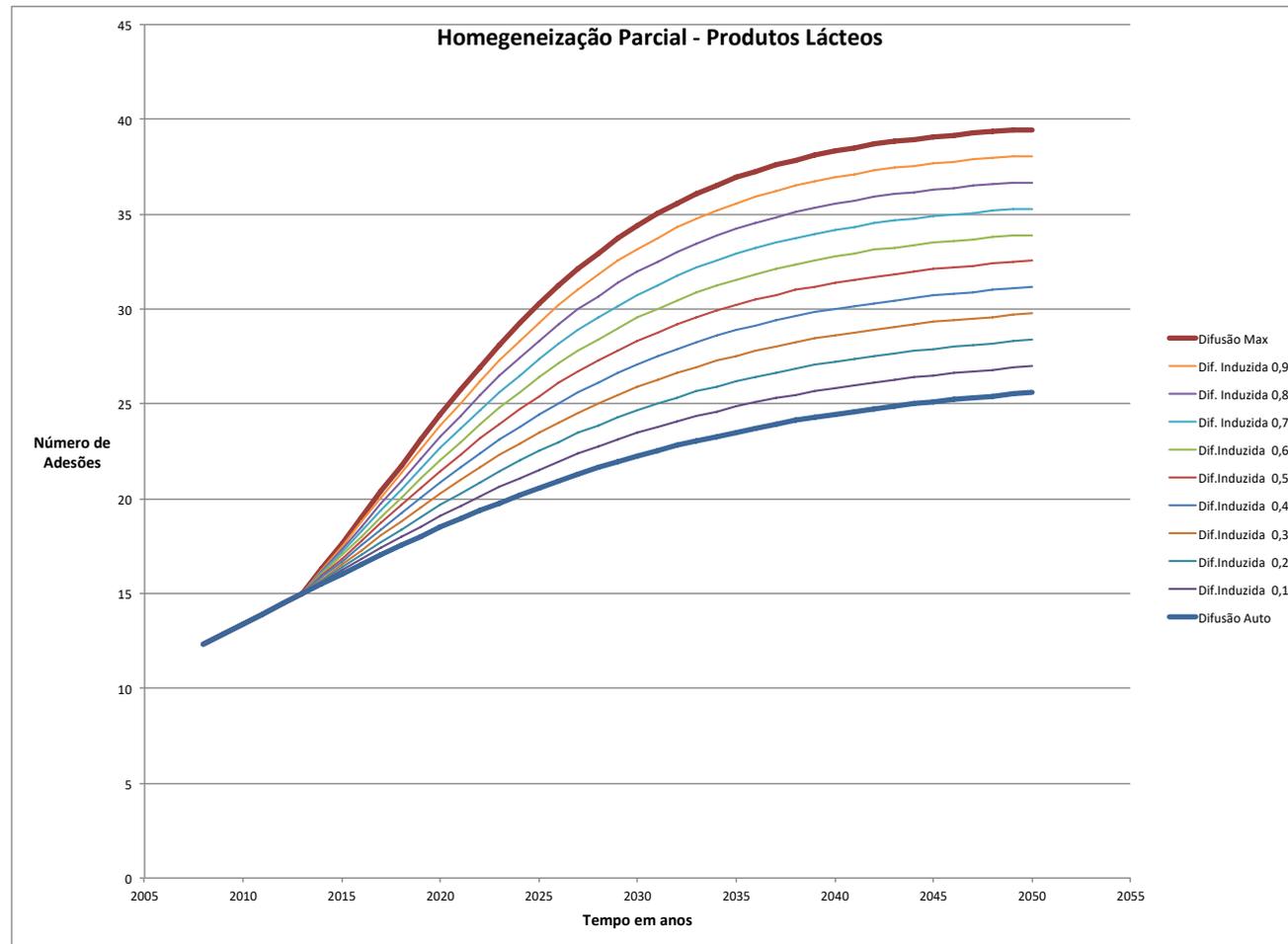
Fonte: (ISI; TEP; IREES, 2013) - adaptado pelo autor

**Figura 8** – Simulação da Difusão tecnológica das MEE no Processo de Resfriamento



Fonte: elaborado pelo autor

**Figura 9** – Simulação da Difusão tecnológica das MEE no processo de Homogeneização Parcial



Fonte: elaborado pelo autor

## 5.2

### Comparação dos cenários de difusão tecnológica: indústria de Alimento e Bebidas

Como descrito acima, a economia de energia anual (ES) de cada medida de eficiência energética, no ano  $t$  para um cenário ( $Sc$ ), é calculada tendo-se como base um potencial de economia específico (SP), a difusão (Difusão) da medida de eficiência energética no ano ( $t$ ) e a produção industrial, utilizando-se a equação 11.

Dessa forma, foi adotado para cada processo de eficiência energética sua respectiva economia específica, multiplicando pela diferença percentual entre o ano final e o ano inicial, encontrando assim a economia total.

Buscou-se a comparação das economias fixando o ano inicial em 2013 e variando os anos finais a cada cinco anos (2020, 2025, 2030, 2035, 2040, 2045, 2050), adotando o cenário de difusão autônoma como limite inferior e o de difusão máxima como limite superior, variando assim a difusão induzida com fatores de 0,1 a 0,9 explicados na seção anterior. Adotou-se, como premissa, faixas percentuais para representar a inserção de políticas focadas em eficiência energéticas, como descrito a seguir:

- (P1) alvo de até 3% de economia: beneficiando a empresa da isenção de imposto (ICMS) quando demonstrarem os investimentos nestas MEE;
- (P1) + (P2) alvo entre 3% a 7% de economia: beneficiando a empresa com maiores prazos e menores taxas de financiamentos quando realizarem investimentos que visem a troca de equipamentos antigos por mais eficientes e/ou melhorias nos processos;
- (P1) + (P2) + (P3) alvo maior que 7% de economia: beneficiando as empresas com políticas de subsídio nas tarifas/preços de energia para aquelas que demonstrarem a conservação de energia através da adoção de medidas de eficiência energética.

Acredita-se que essas sugestões de política podem facilitar o alcance de metas de eficiência energética estabelecidas pelo governo.

## 5.2.1 Cenários de Eficiência Energética

### 5.2.1.1 Homogeneização parcial em produtos lácteos

Foram desenvolvidos cenários de difusão tecnológica, desde o ano 2013 até o ano de 2050, para a MME Homogeneização parcial de produtos lácteos. As Tabelas de 3 a 9 referem-se aos períodos de 2020, 2025, 2030, 2035, 2040, 2045 e 2050, para cada um dos cenários mostrado no resumo na Tabela 10.

- As Tabelas 3 e 4 retratam a evolução das economias entre 2013 e 2020 (Tabela 2) e 2013 e 2025 (Tabela 3). Percebe-se um aumento de quase 50% (de 6,5% a 9,6%) das economias, quando se compara os períodos de cinco anos, com as políticas P1, P2 e P3;
- As Tabelas 5 e 6 retratam a evolução das economias entre 2013 e 2030 (Tabela 4) e 2013 e 2035 (Tabela 5). Percebe-se um aumento de cerca de 10% (11,1%, para 12,2%), quando se compara os períodos de cinco anos, com as políticas P1, P2 e P3;
- As Tabelas 7, 8 e 9 retratam a evolução das economias entre 2013 e 2040 (Tabela 6), 2013 e 2045 (Tabela 7) e 2013 e 2050 (Tabela 8). Percebe-se uma saturação das curvas de difusão de 12,7% de economia nos três cenários, quando se compara os períodos de cinco anos, com a adoção das políticas P1, P2 e P3;
- Na tabela 10, pode-se notar a evolução das economias, evidenciando-se a saturação da curva a partir de 2040.

**Tabela 3** - Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em produtos Lácteos para o período de 2020

Homogeneização Parcial - em Produtos lácteos (2013 a 2020)										
2013		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2020	Volume de Economia em GJ	52,795	105,591	158,386	211,182	263,977	316,773	369,568	422,364	475,159
	Volume de Economia em TWh	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13
	Evolução da Economia (%)	0.7%	1.4%	2.2%	2.9%	3.6%	4.3%	5.0%	5.8%	6.5%

Fonte: elaboração própria

**Tabela 4** – Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em produtos Lácteos para o período de 2025

Homogeneização Parcial - em Produtos lácteos (2013 a 2025)										
2013		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2025	Volume de Economia em GJ	86,056	172,112	258,168	344,225	430,281	516,337	602,393	688,449	774,505
	Volume de Economia em TWh	0.02	0.05	0.07	0.10	0.12	0.14	0.17	0.19	0.22
	Evolução da Economia (%)	1.1%	2.1%	3.2%	4.2%	5.3%	6.4%	7.4%	8.5%	9.6%

Fonte: elaboração própria

**Tabela 5** – Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em Produtos Lácteos para o período de 2030

		Homogeneização Parcial - em Produtos lácteos (2013 a 2030)									
		2013	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2030	Volume de Economia em GJ	107,763	215,526	323,289	431,053	538,816	646,579	754,342	862,105	969,868	
	Volume de Economia em TWh	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	
	Evolução da Economia (%)	1.2%	2.5%	3.7%	4.9%	6.2%	7.4%	8.6%	9.9%	11.1%	


  
 Fonte: elaboração própria

**Tabela 6** – Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em Produtos Lácteos para o período de 2035

		Homogeneização Parcial - em Produtos lácteos (2013 a 2035)									
		2013	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2035	Volume de Economia em GJ	126,092	252,183	378,275	504,367	630,458	756,550	882,642	1,008,733	1,134,825	
	Volume de Economia em TWh	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.21	0.25	0.28	0.32	
	Evolução da Economia (%)	1.4%	2.7%	4.1%	5.4%	6.8%	8.2%	9.5%	10.9%	12.2%	


  
 Fonte: elaboração própria

**Tabela 7** – Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em Produtos Lácteos para o período de 2040

Homogeneização Parcial - em Produtos lácteos (2013 a 2040)										
2013		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2040	Volume de Economia em GJ	136,987	273,974	410,961	547,948	684,935	821,922	958,909	1,095,896	1,232,883
	Volume de Economia em TWh	0.04	0.08	0.11	0.15	0.19	0.23	0.27	0.30	0.34
	Evolução da Economia (%)	1.4%	2.8%	4.2%	5.6%	7.0%	8.4%	9.9%	11.3%	12.7%

Fonte: elaboração própria

**Tabela 8** – Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em Produtos Lácteos para o período de 2045

Homogeneização Parcial - em Produtos lácteos (2013 a 2045)										
2013		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2045	Volume de Economia em GJ	143,402	286,803	430,205	573,606	717,008	860,409	1,003,811	1,147,212	1,290,614
	Volume de Economia em TWh	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36
	Evolução da Economia (%)	1.4%	2.8%	4.2%	5.7%	7.1%	8.5%	9.9%	11.3%	12.7%

Fonte: elaboração própria

**Tabela 9** – Evolução das Economias das MEE aplicadas ao Processo de Homogeneização Parcial em Produtos Lácteos para o período de 2050

		Homogeneização Parcial - em Produtos lácteos (2013 a 2050)								
<b>2013</b>		<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>
<b>2050</b>	Volume de Economia em GJ	<b>147,498</b>	<b>294,997</b>	<b>442,495</b>	<b>589,994</b>	<b>737,492</b>	<b>884,991</b>	<b>1,032,489</b>	<b>1,179,988</b>	<b>1,327,486</b>
	Volume de Economia em TWh	<b>0.04</b>	<b>0.08</b>	<b>0.12</b>	<b>0.16</b>	<b>0.20</b>	<b>0.25</b>	<b>0.29</b>	<b>0.33</b>	<b>0.37</b>
	Evolução da Economia (%)	<b>1.4%</b>	<b>2.8%</b>	<b>4.2%</b>	<b>5.6%</b>	<b>7.0%</b>	<b>8.4%</b>	<b>9.9%</b>	<b>11.3%</b>	<b>12.7%</b>



Fonte: elaboração própria

Tabela 10 – Evolução das Economias no Processo de Homogeneização Parcial em produtos Lácteos

<b>Economia - Homogeneização Parcial - em Produtos lácteos</b>		
<b>Ano</b>	<b>Economia %</b>	<b>Economia (TWh)</b>
<b>2020</b>	<b>6.5%</b>	<b>2.0</b>
<b>2025</b>	<b>9.6%</b>	<b>2.3</b>
<b>2030</b>	<b>11.1%</b>	<b>2.4</b>
<b>2035</b>	<b>12.2%</b>	<b>2.6</b>
<b>2040</b>	<b>12.7%</b>	<b>2.7</b>
<b>2045</b>	<b>12.7%</b>	<b>2.8</b>
<b>2050</b>	<b>12.7%</b>	<b>2.9</b>

Fonte: elaboração própria

### 5.2.1.2

#### Otimização do Processo de resfriamento – em processamento de carne

Foram desenvolvidos cenários de difusão tecnológica, desde o ano de 2013 até o ano de 2050, para a MME Otimização do Processo de resfriamento em processamento de carne. As Tabelas 11 a 17 referem-se aos períodos de 2020, 2025, 2030, 2035, 2040, 2045 e 2050, para cada um dos cenários mostrado em um resumo na Tabela 18.

- As Tabelas 11 e 12 retratam a evolução das economias entre 2013 e 2020 (Tabela 10) e 2013 e 2025 (Tabela 11). Percebe-se um aumento de quase 43% (de 3,7% a 5,3%) das economias, quando se compara os períodos de cinco anos, com as políticas P1, P2 e P3;
- As Tabelas 13 e 14 retratam a evolução das economias entre 2013 e 2030 (Tabela 12) e 2013 e 2035 (Tabela 13). Percebe-se um aumento de cerca de 10% (6,0% para 6,6%), quando se compara os períodos de cinco anos, com as políticas P1, P2 e P3;
- As Tabelas 15, 16 e 17 retratam a evolução das economias entre 2013 e 2040 (Tabela 14), 2013 e 2045 (Tabela 15) e 2013 e 2050 (Tabela 16). Percebe-se, comparando as três tabelas, que a evolução das curvas da Difusão Induzida não varia, ficando saturadas em 6,8%;
- Na Tabela 18 pode-se notar a evolução das economias, evidenciando-se a saturação da curva a partir de 2040.

**Tabela 11** – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2020

Otimização do processo de resfriamento - em Processamento de carne (2013 a 2020)										
2013		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2020	Volume de Economia em GJ	112,717	225,435	338,152	450,869	563,587	676,304	789,022	901,739	1,014,456
	Volume de Economia em TWh	0.03	0.06	0.09	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28
	Evolução da Economia (%)	0.4%	0.8%	1.2%	1.6%	2.0%	2.4%	2.9%	3.3%	3.7%

Fonte: elaboração própria

**Tabela 12** – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2025

Otimização do processo de resfriamento - em Processamento de carne (2013 a 2025)										
2013		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2025	Volume de Economia em GJ	184,439	368,877	553,316	737,754	922,193	1,106,631	1,291,070	1,475,509	1,659,947
	Volume de Economia em TWh	0.05	0.10	0.15	0.20	0.26	0.31	0.36	0.41	0.46
	Evolução da Economia (%)	0.6%	1.2%	1.8%	2.4%	2.9%	3.5%	4.1%	4.7%	5.3%

Fonte: elaboração própria

**Tabela 13** – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2030

Otimização do processo de resfriamento - em Processamento de carne (2013 a 2030)										
2013		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2030	Volume de Economia em GJ	230,203	460,407	690,610	920,813	1,151,017	1,381,220	1,611,424	1,841,627	2,071,830
	Volume de Economia em TWh	0.06	0.13	0.19	0.26	0.32	0.38	0.45	0.51	0.58
	Evolução da Economia (%)	0.7%	1.3%	2.0%	2.7%	3.3%	4.0%	4.7%	5.3%	6.0%



Fonte: elaboração própria

**Tabela 14** – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2035

Otimização do processo de resfriamento - em Processamento de carne (2013 a 2035)										
2013		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2035	Volume de Economia em GJ	271,219	542,438	813,657	1,084,876	1,356,095	1,627,314	1,898,532	2,169,751	2,440,970
	Volume de Economia em TWh	0.08	0.15	0.23	0.30	0.38	0.45	0.53	0.60	0.68
	Evolução da Economia (%)	0.7%	1.5%	2.2%	2.9%	3.7%	4.4%	5.1%	5.9%	6.6%



Fonte: elaboração própria

**Tabela 15** – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2040

Otimização do processo de resfriamento - em Processamento de carne (2013 a 2040)										
2013		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2040	Volume de Economia em GJ	295,980	591,960	887,940	1,183,920	1,479,900	1,775,880	2,071,860	2,367,840	2,663,820
	Volume de Economia em TWh	0.08	0.16	0.25	0.33	0.41	0.49	0.58	0.66	0.74
	Evolução da Economia (%)	0.8%	1.5%	2.3%	3.0%	3.8%	4.5%	5.3%	6.0%	6.8%

P1

P 1 + P 2

P1 + P2 + P3

Fonte: elaboração própria

**Tabela 16** – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2045

Otimização do processo de resfriamento - em Processamento de carne (2013 a 2045)										
2013		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2045	Volume de Economia em GJ	311,061	622,122	933,183	1,244,244	1,555,305	1,866,366	2,177,427	2,488,488	2,799,549
	Volume de Economia em TWh	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43	0.52	0.60	0.69	0.78
	Evolução da Economia (%)	0.8%	1.5%	2.3%	3.0%	3.8%	4.6%	5.3%	6.1%	6.8%

P1

P 1 + P 2

P1 + P2 + P3

Fonte: elaboração própria

**Tabela 17** – Evolução das Economias das MEE aplicadas no Processo de otimização de resfriamento no processamento de carne para o período de 2050

		Otimização do processo de resfriamento - em Processamento de carne (2013 a 2050)								
<b>2013</b>		<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>
<b>2050</b>	Volume de Economia em GJ	<b>321,148</b>	<b>642,296</b>	<b>963,444</b>	<b>1,284,591</b>	<b>1,605,739</b>	<b>1,926,887</b>	<b>2,248,035</b>	<b>2,569,183</b>	<b>2,890,331</b>
	Volume de Economia em TWh	<b>0.09</b>	<b>0.18</b>	<b>0.27</b>	<b>0.36</b>	<b>0.45</b>	<b>0.54</b>	<b>0.62</b>	<b>0.71</b>	<b>0.80</b>
	Evolução da Economia (%)	<b>0.8%</b>	<b>1.5%</b>	<b>2.3%</b>	<b>3.0%</b>	<b>3.8%</b>	<b>4.5%</b>	<b>5.3%</b>	<b>6.0%</b>	<b>6.8%</b>



Fonte: elaboração própria

Tabela 18 – Evolução das Economias no Processo de Otimização de Resfriamento – em Processamento de carnes

<b>Economia - Otimização do processo de resfriamento - em Processamento de carne</b>		
<b>Ano</b>	<b>Economia %</b>	<b>Economia (TWh)</b>
<b>2020</b>	<b>3.7%</b>	<b>7.7</b>
<b>2025</b>	<b>5.3%</b>	<b>8.7</b>
<b>2030</b>	<b>6.0%</b>	<b>9.6</b>
<b>2035</b>	<b>6.6%</b>	<b>10.3</b>
<b>2040</b>	<b>6.8%</b>	<b>10.9</b>
<b>2045</b>	<b>6.8%</b>	<b>11.4</b>
<b>2050</b>	<b>6.8%</b>	<b>11.8</b>

Fonte: elaboração própria

### 5.2.2 Resultado dos Cenários x Economias obtidas

Foram consideradas duas MME em dois processos da indústria de alimentos e bebidas. Comparou-se a redução do consumo em diversos cenários da difusão transversal das MEE, primeiramente em relação ao consumo do subsetor e, em seguida, em relação à toda indústria de alimentos e bebidas.

Para o processo de Homogeneização Parcial do segmento de produtos lácteos, por exemplo, no período de 2013 a 2030, estimou-se uma economia de 2,4 TWh, como mostrado na Tabela 9. Já a otimização do processo de resfriamento no segmento de processamento de carne no mesmo período obteve uma economia de 9,6 TWh (Tabela 17). Já no período de 2013 a 2030, obteve-se uma economia total comparando com o consumo do subsetor:

- 1ª MEE - Homogeneização Parcial - em Produtos lácteos (2013 a 2030) - considerando a Difusão Induzida, economia de 11,1% (2,4 TWh) e;
- 2ª MEE - Otimização do processo de resfriamento - em Processamento de carne (2013 a 2030) - considerando a Difusão Induzida, economia de 6,0% (9,6 TWh).

É através da construção de uma linha de base, multiplicada pelo fator de emissões do cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> evitadas, que se calcula a energia evitada para um empreendimento de eficiência energética.

O cálculo se dá através do fator de emissão da margem combinada (*combined margin* – CM). Esse fator é uma média ponderada do fator emissão da margem de operação (*operating margin* - OM) e do fator de emissão da margem de construção (*build margin* - BM) (CALILI, 2013).

Para demonstrar a magnitude dos resultados que essas economias podem trazer, calculou-se a emissão de CO<sub>2</sub> relativa às economias das duas MEE, representada em toneladas de CO<sub>2</sub> economizado. Foi adotado o fator de emissão médio de 0,0817 t CO<sub>2</sub>/MWh segundo os dados do MCTI (2016). Adotando-se a “Difusão Induzida entre 2013 a 2050” num horizonte de trinta e sete anos se alcançará, para cada MEE, o valor de emissões acumuladas evitadas:

- 1ª MEE – 33.473,95 de MtCO<sub>2</sub> emissões acumuladas evitadas;
- 2ª MEE – 72.882,72 de MtCO<sub>2</sub> emissões acumuladas evitadas.

Comprova-se que o impacto dessas duas Medidas de Eficiência Energética possibilitará, num horizonte de trinta e sete anos, se alcançar um valor acumulado de 106.356,67 MtCO<sub>2</sub> evitado, através do cálculo da curva de Difusão Induzida de 2013 a 2050.

Na segunda forma de comparação, também considerando os cenários de curva de difusão tecnológica de cinco em cinco anos, de 2013 a 2050, mas comparando com o consumo de todo o subsetor de alimentos e bebidas, na análise do total de economia da 1ª MME Homogeneização parcial em produtos lácteos, a representação do total de economia na Difusão Induzida fica em torno de 1,62%. Já para o período de 2013 a 2030, a economia chega a 1,26%.

Na análise do total de economia da 2ª MME — Otimização do processo de resfriamento — em Processamento de carne de 2013 a 2050, a representação do total de economia na Difusão Induzida fica em torno de 2,50% para o mesmo ano de 2030, podendo chegar a 3,44% de todo o subsetor em 2050 na Difusão Induzida. Como ilustrado em detalhes na Tabela 18 e na Figura 19.

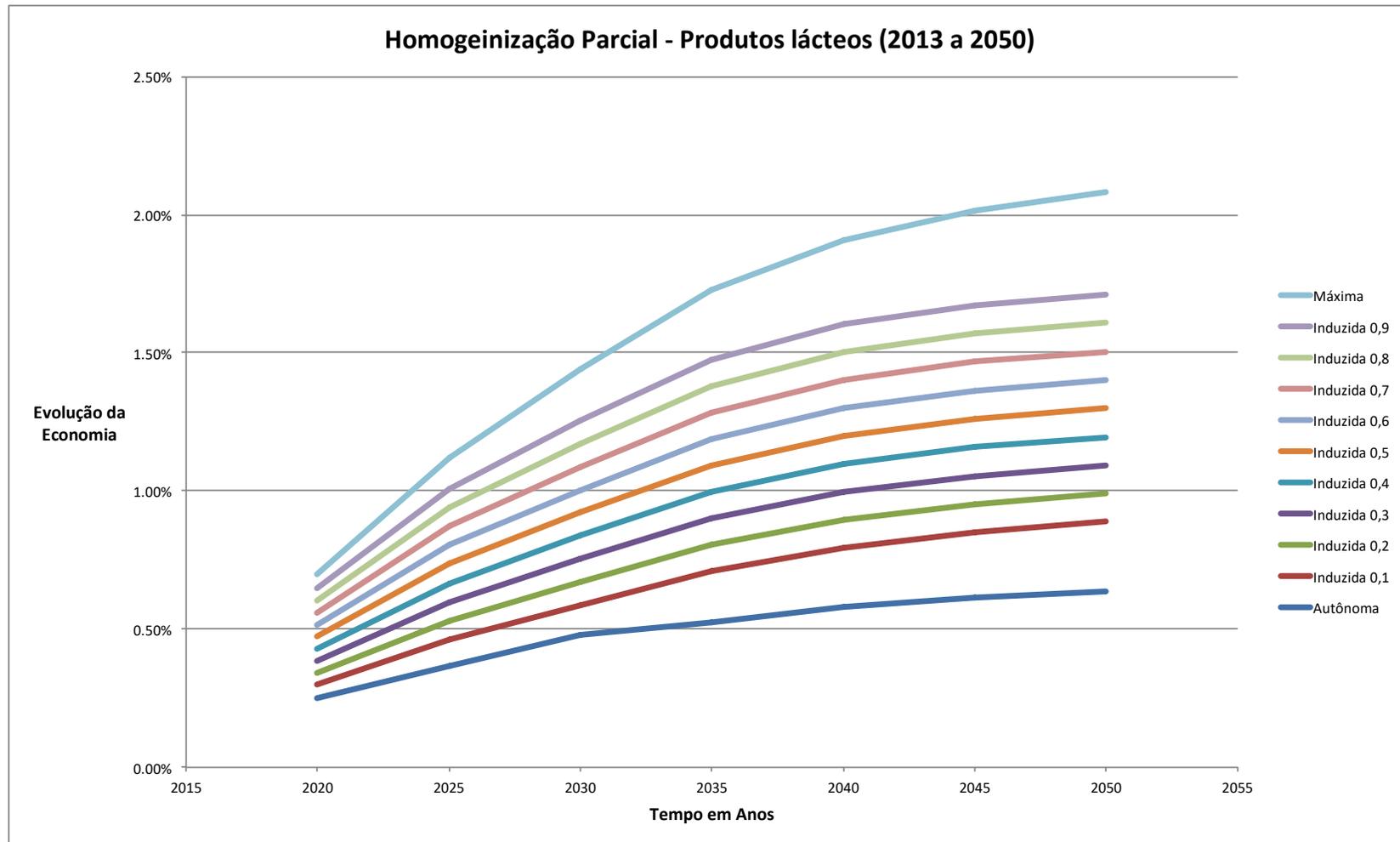
Nas Figuras 10 e 11 ficam representadas as evoluções das economias obtidas referentes as Tabelas 19 e 20, entre os anos de 2020 a 2050.

Tabela 19 - Cálculo das Economias das Medidas de Eficiência Energéticas de acordo com o consumo elétrico

<b>Homogeneização Parcial - em Produtos lácteos (2013 a 2050)</b>							
<b>Difusão</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>	<b>2045</b>	<b>2050</b>
<b>Máxima</b>	0,70%	1,12%	1,44%	1,73%	1,91%	2,01%	1,98%
<b>Induzida 0,9</b>	0,65%	1,01%	<b>1,26%</b>	1,48%	1,61%	1,67%	<b>1,62%</b>
<b>Induzida 0,8</b>	0,60%	0,94%	1,17%	1,38%	1,50%	1,57%	1,52%
<b>Induzida 0,7</b>	0,56%	0,87%	1,09%	1,28%	1,40%	1,47%	1,42%
<b>Induzida 0,6</b>	0,52%	0,80%	<b>1,00%</b>	1,19%	1,30%	1,36%	1,32%
<b>Induzida 0,5</b>	0,47%	0,74%	0,92%	1,09%	1,20%	1,26%	1,22%
<b>Induzida 0,4</b>	0,43%	0,67%	0,84%	1,00%	1,10%	1,16%	1,12%
<b>Induzida 0,3</b>	0,38%	0,60%	0,75%	0,90%	1,00%	1,06%	1,02%
<b>Induzida 0,2</b>	0,34%	0,53%	0,67%	0,80%	0,89%	0,95%	0,92%
<b>Induzida 0,1</b>	0,30%	0,46%	0,58%	0,71%	0,79%	0,85%	0,82%
<b>Autônoma</b>	0,25%	0,37%	0,45%	0,53%	0,58%	0,62%	0,64%

Fonte: elaboração própria

**Figura 10** - Curvas referentes as economias de acordo com o consumo elétrico referente a produção de todo o setor de alimentos e bebidas



Fonte: elaboração própria

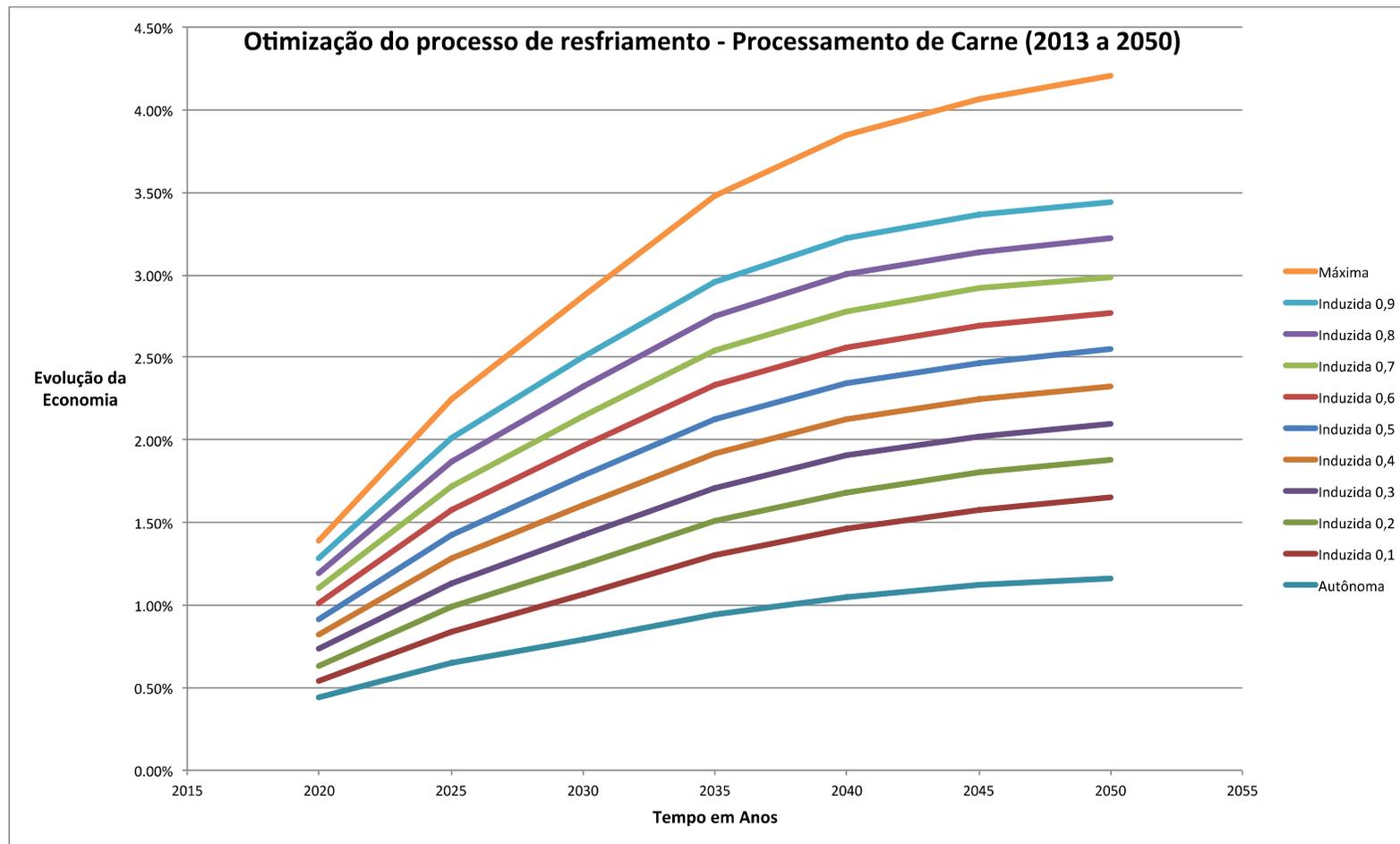
Tabela 20 - Cálculo das Economias das Medidas de Eficiência Energéticas de acordo com o consumo elétrico

**Otimização do processo de resfriamento - em Processamento de carne (2013 a 2050)**

<b>Economia em relação ao Consumo de Eletricidade em</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>	<b>2045</b>	<b>2050</b>
<b>Máxima</b>	1,39%	2,25%	2,87%	3,47%	3,85%	4,07%	4,21%
<b>Induzida 0,9</b>	1,28%	2,01%	<b>2,50%</b>	2,95%	3,22%	3,36%	<b>3,44%</b>
<b>Induzida 0,8</b>	1,19%	1,87%	2,32%	2,75%	3,00%	3,14%	3,22%
<b>Induzida 0,7</b>	1,10%	1,72%	2,14%	2,54%	2,78%	2,92%	2,99%
<b>Induzida 0,6</b>	1,01%	1,57%	<b>1,96%</b>	2,33%	2,56%	2,69%	2,77%
<b>Induzida 0,5</b>	0,91%	1,43%	1,78%	2,13%	2,34%	2,47%	2,55%
<b>Induzida 0,4</b>	0,82%	1,28%	1,60%	1,92%	2,12%	2,25%	2,32%
<b>Induzida 0,3</b>	0,73%	1,13%	1,42%	1,71%	1,90%	2,02%	2,10%
<b>Induzida 0,2</b>	0,63%	0,99%	1,24%	1,51%	1,68%	1,80%	1,88%
<b>Induzida 0,1</b>	0,54%	0,84%	1,06%	1,30%	1,47%	1,58%	1,65%
<b>Autônoma</b>	0,44%	0,65%	0,79%	0,94%	1,05%	1,12%	1,16%

Fonte: elaboração própria

**Figura 11** - Curvas referentes as economias de acordo com o consumo elétrico referente a produção de todo o setor de alimentos e bebidas



Fonte: elaboração própria

### 5.2.3

#### Conclusão da análise das economias nos dois processos do setor de alimentos e bebidas

Pode-se concluir neste capítulo, mais detalhadamente, que, no caso das análises das curvas de difusão tecnológica das duas MEE nos processos da indústria de alimentos e bebidas referentes a (i) Homogeneização Parcial do segmento de produtos lácteos; e (ii) Otimização do processo de resfriamento no segmento de processamento de carne, quanto mais rápido se iniciarem as políticas energéticas, com a inserção de novas políticas energéticas complementares — como incentivo fiscal, adoção de menores taxas, com maiores prazos de financiamento ou subsídios nas tarifas de energia, — maior será a aceleração da adoção das MEE e, conseqüentemente, na economia do consumo de energia elétrica, além do aumento da competitividade das indústrias brasileiras.

O resultado das economias no consumo de energia na aplicação da Difusão Induzida como cenário das curvas de difusão tecnológica demonstradas nas duas MEE reforça a necessidade de novas políticas de eficiência energética.

Essas duas Medidas de Eficiência Energética totalizaram, no cenário de Difusão Induzida entre 2013 e 2050, um acúmulo total de 106.356,67 MtCO<sub>2</sub> evitado, como ficou demonstrado, se comparado por indústria.

### 5.3

#### Discussão do resultado

Existem diversas similaridades entre as políticas de eficiência energética internacionais e as aplicadas no Brasil, o que faltam são políticas complementares de incentivo em financiamentos, isenções fiscais, subsídios nas tarifas, que provocariam influência direta na aceleração de adoção as medidas de eficiência energética nas indústrias. Como resultado direto, economia no consumo de energia elétrica traduzida em melhor *payback*, influenciando a curva de Difusão Induzida, que pode variar conforme simulado de acordo com o número de políticas consideradas.

Ao simular as MEE que devem ser adotadas no setor de alimentos e bebidas, com vistas a reduzir seu consumo de energia, tem-se uma expectativa de redução significativa do consumo de energia desse setor, o que acarreta redução do consumo

na indústria como um todo. Vale ressaltar que os resultados foram bastante esclarecedores, podendo-se concluir que os métodos de análises de cenários utilizando as curvas de difusão tecnológica são adequados e aderentes às análises de efeito das políticas de eficiência energética.

## 6 Conclusão

O principal objetivo desta dissertação é definir, para a indústria de alimentos e bebidas brasileiras, políticas de eficiência energética baseadas em experiências internacionais e medir seus impactos no consumo de energia.

Buscou-se o melhor entendimento de como funcionam e como são aplicadas as políticas energéticas. Verificou-se, ao redor do mundo, que existem países que são considerados referência em conservação de energia, e demonstram as vantagens econômicas. Os focos principais são a segurança energética e o aumento da competitividade, mas também a sustentabilidade, nas questões referentes à diminuição da emissão de gases de efeito estufa.

Essas políticas mais incisivas nas indústrias eletro intensivas pode gerar uma economia de energia relevante, que implicaria na postergação de construção de novos geradores de energia.

Constatou-se a existência de diversas políticas de eficiência energética, voltadas especificamente para as indústrias e mantidas pelo governo federal.

Percebe-se que várias políticas são igualmente aplicadas com sucesso entre os países estudados e algumas são parecidas com as políticas de eficiência energética no Brasil.

Destaca-se que a maior diferença é que as políticas de eficiência energética brasileiras não são efetivadas, em grande parte por falta de ações primordiais do governo, como incentivos fiscais e tributários, ou até taxas de juros especiais para investimentos da troca de equipamentos antigos por mais eficientes. Além disso, são poucas as ações no sentido de se inserir a cultura de gestão energética no mercado, treinamentos em auditoria, avaliação de projetos, medição e verificação, dentre outros.

Foram analisados diferentes cenários de curvas de difusão tecnológicas em duas Medidas de Eficiência Energética, referentes aos processos de produtos lácteos e processamento de carne no setor industrial de alimentos e bebidas.

Foram utilizados os modelos *botton-up*, onde as considerações das tecnologias são mais detalhadas, o que permitiu as modelagens do impacto das tecnologias distintas, bem definidas, sobre o desenvolvimento a longo prazo de consumo de energia.

Através das funções logísticas (Equações 6, 7, 8, 9 e 10) foram calculadas as curvas de Difusão Máxima e Autônoma para as duas MEE, utilizou-se diferentes cenários para simular as políticas energéticas representadas nas trajetórias das curvas de Difusão Induzida para cada processo de Medida de Eficiência Energética em produtos lácteos e processamento de carne.

Buscou-se a comparação das economias (Equação 11) fixando o ano inicial de 2013 de aplicação da MEE e variando os anos finais a cada cinco anos (2020, 2025, 2030, 2035, 2040, 2045, 2050). Adotou-se o cenário de Difusão Autônoma como limite inferior e o de Difusão Máxima como limite superior, variando assim a Difusão Induzida com fatores de 0,1 a 0,9. Adotou-se como premissa, faixas percentuais para representar a inserção de políticas focadas em eficiência energética.

Como resultado, demonstrou-se o montante de economia para cada subsetor, simulando os incentivos governamentais através da inserção de políticas de eficiência energética na indústria. Essa economia de energia nas indústrias traria a redução da emissão dos gases de efeito estufa e ajudaria o Brasil a atender os acordos internacionais, especialmente o firmado na COP21, em Paris.

Como sugestões para trabalhos futuros, deve-se aprofundar o estudo dos impactos de políticas de eficiência energética em outros subsetores da economia, a fim de subsidiar e avaliar a magnitude de um programa com políticas energéticas mais abrangente.

## Referências bibliográficas

ISI, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research; TEP, ENERGY; IREES, Institute for resource efficiency and energy strategies. Forecast - Forecasting Energy Consumption Analysis and Simulation Tool, Methodology description. p. 9- 18, 2013.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPPE. 2013.

BASS, F. M. **A New Product Growth for Model Consumer Durables**, p. 1825 -1832, 1967.

BMWI. Third National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP) 2014 for the Federal Republic of Germany. **Federal Ministry for Economic Affairs and Energy**, n. October 2012, p. 60, 2014.

BRASIL. Presidência da República - Lei 12.202. v. 50, p. 21–24, 2010.

BRASIL. Presidência da República - Lei 13.280. p. 2016–2018, 2016.

BRASIL, M. DE M. E E. Lei nº 10.295 - Lei de Eficiência Energética Presidência da República. p. 17–18, 2001.

BRASIL, P. DA R. DO. No Title. **Presidente da República do Brasil**, v. Lei nº 108, n. 15 de março de 2004, p. 20, 2004.

CALILI, R. F. **Políticas de Eficiência Energética no Brasil : uma abordagem em um ambiente econômico sob Incerteza**. p. 44 - 55, 2013.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Preço de liquidação das diferenças, referente a março 2017. Disponível em: <http://www.ccee.org.br>

CIVIL, C.; GOMIDE, F. DECRETO Nº 4.508, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2002. p. 1–6, 2002.

DOE, D. OF E. QUADRENNIAL ENERGY REVIEW TRANSFORMING THE NATION ' S ELECTRICITY SYSTEM : THE SECOND INSTALLMENT OF THE QER. **Review, Quadrennial Energy**, n. January, p. 512, 2017.

EDQUIST, C. The Systems of Innovation Approach and Innovation Policy : An account of the state of the art By. p. 1–24, 2001.

EIA. Annual Energy Outlook 2016. **Office of Integrated and International Energy Analysis**, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) / MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME). Summary for Policymakers. **Climate Change 2013 - The Physical Science Basis**, p. 1–30, 2015.

EPE. Balanço Energético Nacional 2016: Ano Base 2015. p. 292, 2016a.

EPE. Estudos da Demanda de Energia 2050 - NOTA TÉCNICA DEA 13/15. 2016b.

ETZKOWITZ, H. of science and innovation policy. v. 33, n. 5, p. 310–320, 2006.

EUROPEAN COMMISSION. Impact Assessment Accompanying the document Directive of the European Parliament and of the Council on energy efficiency and amending and subsequently repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. **Commission Staff Working Paper**, 2011.

EUROPEAN COMMISSION. Energy Efficiency and its contribution to energy security and the 2030 Framework for climate and energy policy. **European Commission**, p. Brussels, 2014.

FLEITER, T. et al. Energy efficiency in the German pulp and paper industry - A model-based assessment of saving potentials. **Energy**, v. 40, n. 1, p. 84–99, 2012.

FLEITER, T.; WORRELL, E.; EICHHAMMER, W. Barriers to energy efficiency in industrial bottom-up energy demand models - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 6, p. 3099–3111, 2011.

MACULAN, A. M. **Redes de inovação para difusão tecnológica**, p.10 - 20, 2011.

MEADE, N.; ISLAM, T. Modelling and forecasting the diffusion of innovation – A 25-year review. v. 22, p. 519–545, 2006.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Fatores de emissão de CO<sub>2</sub>. Valor Médio anual referente ao ano de 2016. Disponível em: <http://www.met.gov.br/index.php/content/view/321144.html>

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Eficiência Energética. **Premissas e Diretrizes Básicas**, p. 156, 2011.

MINISTERIOS, P.-P. I. N. 553/2005. Ministério de Minas e Energia. n. D, p. 2004–2006, 2005.

NETO, B. H. **Redes de inovação para difusão tecnológica**, p. 12 - 20, 2011.

PESQUISA, C. D. E.; RIA, A.; TRÓPICO, D. O. - do Brasil ; **Relatório Nacional de Monitorização de Eficiência Energética do Brasil**, p. 94, 2015.

PHYLIPSEN, D. et al. Benchmarking the energy efficiency of Dutch industry: An assessment of the expected effect on energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions. **Energy Policy**, v. 30, n. 8, p. 663–679, 2002.

PROCEL, S.; ENERGIA, D. E. E. D. E., 2013.

QINHUA, X. **Understanding energy in China - geographies of energy efficiency**. Apperc - Asia Pacific Energy Research Centre. p. 9 - 40 , 2009.

RACHEL YOUNG, SARA HAYES, MEEGAN KELLY, SHRUTI VAIDYANATHAN, SAMEER KWATRA, RACHEL CLUETT, G. H. The 2014 International Energy Efficiency Scorecard, 2014.

ROCHA, C. R.; BAJAY, S. V.; GORLA, F. D. **Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria - Relatório Setorial: Alimentos e Bebidas**. p. 48 - 56 , 2010.

TIGRE, P. B. **Gestão da inovação: a economia da tecnologia no Brasil**. p. 282, 2006.

WANG, Y. et al. The consequence of energy policies in China: A case study of the iron and steel sector. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 117, p. 66–73, 2014.

WANG, Y.; BROWN, M. A. Policy drivers for improving electricity end-use efficiency in the USA: an economic-engineering analysis. **Energy Efficiency**, p. 1–30, 2013.

YU, Y. et al. Ex-post assessment of China's industrial energy efficiency policies during the 11th Five-Year Plan. **Energy Policy**, v. 76, p. 132–145, 2015.

ZHAO, X.; WU, L. Interpreting the Evolution of the Energy-Saving Target Allocation System in China: A View of Policy Learning. 1 - 12, 2016.

## Apêndices

**Quadro A1 - Cálculo das Curvas de Difusão Tecnológica da MEE de Otimização do Processo de Resfriamento – Processamento de carne**

Ano	Difusão Auto	Difusão Max	Dif. Induzida 0,1	Dif. Induzida 0,2	Dif. Induzida 0,3	Dif. Induzida 0,4	Dif. Induzida 0,5	Dif. Induzida 0,6	Dif. Induzida 0,7	Dif. Induzida 0,8	Dif. Induzida 0,9
2008	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32
2009	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86
2010	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40
2011	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93
2012	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47
2013	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
2014	15,53	16,46	15,62	15,71	15,80	15,90	15,99	16,08	16,18	16,27	16,36
2015	16,04	17,96	16,24	16,43	16,62	16,81	17,00	17,20	17,39	17,58	17,77
2016	16,55	19,50	16,85	17,14	17,44	17,73	18,03	18,32	18,62	18,91	19,21
2017	17,05	21,06	17,45	17,86	18,26	18,66	19,06	19,46	19,86	20,26	20,66
2018	17,54	22,62	18,05	18,56	19,07	19,58	20,08	20,59	21,10	21,61	22,12
2019	18,02	24,17	18,63	19,25	19,86	20,48	21,09	21,71	22,33	22,94	23,56
2020	18,48	25,69	19,20	19,92	20,64	21,36	22,08	22,80	23,52	24,25	24,97
2021	18,93	27,16	19,75	20,57	21,40	22,22	23,04	23,87	24,69	25,51	26,33
2022	19,36	28,57	20,28	21,20	22,12	23,04	23,97	24,89	25,81	26,73	27,65
2023	19,78	29,91	20,79	21,81	22,82	23,83	24,85	25,86	26,87	27,88	28,90
2024	20,18	31,17	21,28	22,38	23,48	24,58	25,68	26,78	27,88	28,98	30,08
2025	20,57	32,36	21,74	22,92	24,10	25,28	26,46	27,64	28,82	30,00	31,18
2026	20,93	33,45	22,18	23,44	24,69	25,94	27,19	28,44	29,69	30,95	32,20
2027	21,28	34,45	22,60	23,92	25,24	26,55	27,87	29,19	30,50	31,82	33,14
2028	21,62	35,37	22,99	24,37	25,74	27,12	28,50	29,87	31,25	32,62	34,00
2029	21,94	36,20	23,36	24,79	26,22	27,64	29,07	30,50	31,92	33,35	34,78
2030	22,24	36,95	23,71	25,18	26,65	28,12	29,60	31,07	32,54	34,01	35,48
2031	22,52	37,63	24,03	25,54	27,06	28,57	30,08	31,59	33,10	34,61	36,12
2032	22,79	38,23	24,34	25,88	27,42	28,97	30,51	32,06	33,60	35,14	36,69
2033	23,05	38,76	24,62	26,19	27,76	29,33	30,91	32,48	34,05	35,62	37,19
2034	23,29	39,24	24,88	26,48	28,07	29,67	31,26	32,86	34,45	36,05	37,64
2035	23,52	39,66	25,13	26,74	28,36	29,97	31,59	33,20	34,81	36,43	38,04
2036	23,73	40,02	25,36	26,99	28,62	30,25	31,88	33,51	35,14	36,76	38,39
2037	23,93	40,35	25,57	27,21	28,85	30,50	32,14	33,78	35,42	37,06	38,71
2038	24,11	40,63	25,77	27,42	29,07	30,72	32,37	34,02	35,68	37,33	38,98
2039	24,29	40,88	25,95	27,61	29,27	30,92	32,58	34,24	35,90	37,56	39,22
2040	24,45	41,10	26,12	27,78	29,44	31,11	32,77	34,44	36,10	37,77	39,43
2041	24,60	41,28	26,27	27,94	29,61	31,28	32,94	34,61	36,28	37,95	39,62
2042	24,75	41,45	26,42	28,09	29,76	31,43	33,10	34,77	36,44	38,11	39,78
2043	24,88	41,59	26,55	28,22	29,89	31,56	33,24	34,91	36,58	38,25	39,92
2044	25,00	41,72	26,68	28,35	30,02	31,69	33,36	35,03	36,70	38,37	40,05
2045	25,12	41,82	26,79	28,46	30,13	31,80	33,47	35,14	36,81	38,48	40,15
2046	25,23	41,92	26,90	28,56	30,23	31,90	33,57	35,24	36,91	38,58	40,25
2047	25,33	42,00	26,99	28,66	30,33	32,00	33,66	35,33	37,00	38,66	40,33
2048	25,42	42,07	27,08	28,75	30,41	32,08	33,74	35,41	37,07	38,74	40,40
2049	25,51	42,13	27,17	28,83	30,49	32,15	33,82	35,48	37,14	38,80	40,47
2050	25,59	42,18	27,24	28,90	30,56	32,22	33,88	35,54	37,20	38,86	40,52

Fonte: elaboração própria

**Quadro A2 - Cálculo das Curvas de Difusão Tecnológica da MEE do processo de Homogeneização Parcial – Produtos Lácteos**

Ano	Difusão Auto	Difusão Max	Dif. Induzida 0,1	Dif. Induzida 0,2	Dif. Induzida 0,3	Dif. Induzida 0,4	Dif. Induzida 0,5	Dif. Induzida 0,6	Dif. Induzida 0,7	Dif. Induzida 0,8	Dif. Induzida 0,9
2008	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32
2009	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86
2010	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40	13,40
2011	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93	13,93
2012	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47	14,47
2013	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
2014	15,53	16,31	15,60	15,68	15,76	15,84	15,92	16,00	16,08	16,15	16,23
2015	16,04	17,65	16,21	16,37	16,53	16,69	16,85	17,01	17,17	17,33	17,49
2016	16,55	19,02	16,80	17,05	17,29	17,54	17,79	18,03	18,28	18,53	18,77
2017	17,05	20,39	17,39	17,72	18,06	18,39	18,72	19,06	19,39	19,72	20,06
2018	17,54	21,76	17,96	18,39	18,81	19,23	19,65	20,07	20,50	20,92	21,34
2019	18,02	23,11	18,53	19,04	19,55	20,06	20,57	21,08	21,59	22,09	22,60
2020	18,48	24,44	19,08	19,67	20,27	20,86	21,46	22,05	22,65	23,25	23,84
2021	18,93	25,72	19,61	20,29	20,97	21,64	22,32	23,00	23,68	24,36	25,04
2022	19,36	26,95	20,12	20,88	21,64	22,40	23,16	23,91	24,67	25,43	26,19
2023	19,78	28,12	20,61	21,45	22,28	23,12	23,95	24,79	25,62	26,45	27,29
2024	20,18	29,23	21,09	21,99	22,90	23,80	24,71	25,61	26,52	27,42	28,33
2025	20,57	30,27	21,54	22,51	23,48	24,45	25,42	26,39	27,36	28,33	29,30
2026	20,93	31,24	21,96	22,99	24,03	25,06	26,09	27,12	28,15	29,18	30,21
2027	21,28	32,14	22,37	23,45	24,54	25,62	26,71	27,79	28,88	29,97	31,05
2028	21,62	32,96	22,75	23,89	25,02	26,15	27,29	28,42	29,56	30,69	31,82
2029	21,94	33,71	23,11	24,29	25,47	26,65	27,82	29,00	30,18	31,36	32,53
2030	22,24	34,39	23,45	24,67	25,89	27,10	28,32	29,53	30,75	31,96	33,18
2031	22,52	35,01	23,77	25,02	26,27	27,52	28,77	30,02	31,27	32,51	33,76
2032	22,79	35,57	24,07	25,35	26,63	27,90	29,18	30,46	31,74	33,01	34,29
2033	23,05	36,07	24,35	25,65	26,96	28,26	29,56	30,86	32,16	33,47	34,77
2034	23,29	36,52	24,61	25,93	27,26	28,58	29,90	31,23	32,55	33,87	35,19
2035	23,52	36,92	24,86	26,20	27,54	28,88	30,22	31,56	32,90	34,24	35,58
2036	23,73	37,27	25,08	26,44	27,79	29,14	30,50	31,85	33,21	34,56	35,92
2037	23,93	37,59	25,29	26,66	28,02	29,39	30,76	32,12	33,49	34,85	36,22
2038	24,11	37,86	25,49	26,86	28,24	29,61	30,99	32,36	33,74	35,11	36,49
2039	24,29	38,11	25,67	27,05	28,43	29,82	31,20	32,58	33,96	35,35	36,73
2040	24,45	38,33	25,84	27,23	28,61	30,00	31,39	32,78	34,16	35,55	36,94
2041	24,60	38,52	26,00	27,39	28,78	30,17	31,56	32,95	34,34	35,73	37,13
2042	24,75	38,69	26,14	27,53	28,93	30,32	31,72	33,11	34,50	35,90	37,29
2043	24,88	38,83	26,28	27,67	29,07	30,46	31,86	33,25	34,65	36,04	37,44
2044	25,00	38,96	26,40	27,80	29,19	30,59	31,98	33,38	34,77	36,17	37,57
2045	25,12	39,08	26,51	27,91	29,31	30,70	32,10	33,49	34,89	36,28	37,68
2046	25,23	39,17	26,62	28,02	29,41	30,81	32,20	33,60	34,99	36,39	37,78
2047	25,33	39,26	26,72	28,11	29,51	30,90	32,29	33,69	35,08	36,47	37,87
2048	25,42	39,34	26,81	28,20	29,59	30,99	32,38	33,77	35,16	36,55	37,95
2049	25,51	39,40	26,90	28,28	29,67	31,06	32,45	33,84	35,23	36,62	38,01
2050	25,59	39,46	26,97	28,36	29,75	31,14	32,52	33,91	35,30	36,69	38,07

Fonte: elaboração própria