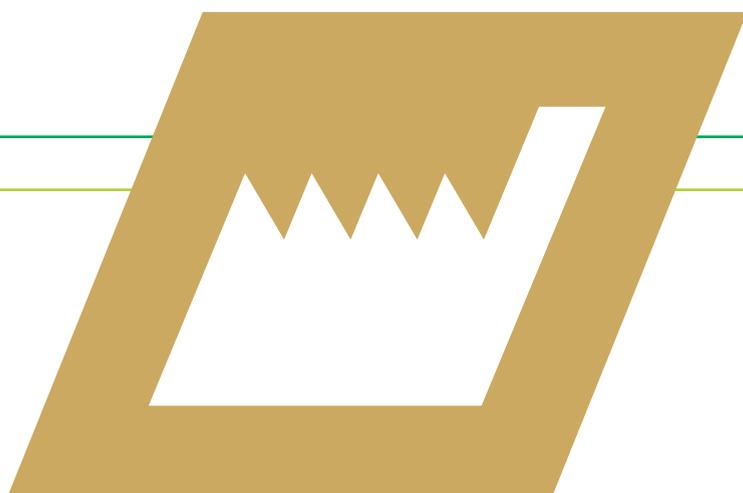




*Opções de Mitigação de Emissões
de Gases de Efeito Estufa em
Setores-Chave do Brasil*



***MODELAGEM SETORIAL DE OPÇÕES
DE BAIXO CARBONO PARA O SETOR
DE ALIMENTOS E BEBIDAS***



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



RÉGIS RATHMANN
(ORGANIZADOR)

***MODELAGEM SETORIAL DE OPÇÕES
DE BAIXO CARBONO PARA O SETOR
DE ALIMENTOS E BEBIDAS***

Brasília
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
ONU Meio Ambiente
2017

M689 Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de alimentos e bebidas / organizador Régis Rathmann. - Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017.

101 p.: il. - (Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em setores-chave do Brasil)

ISBN: 978-85-88063-58-7

1. Mudanças Climáticas. 2. Emissão de gases. 3. Alimentos. 4. Bebidas. 5. Produção de alimentos - Tecnologia. 6. Produção de bebidas - Tecnologia. 7. Políticas públicas - Emissão de gases. I. Rathmann, Régis. II. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. III. ONU Meio Ambiente. IV. Série.

CDU 551.583

Ficha catalográfica elaborada por: Lorena Nelza F. Silva - CRB-1/2474

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Esplanada dos Ministérios, Bloco E
CEP: 70.067-900 - Brasília - DF
Tel.: +55 (61) 2033-7500
www.mcti.gov.br

ONU Meio Ambiente - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
Casa da ONU - Complexo Sérgio Vieira de Mello
Setor de Embaixadas Norte, Quadra 802, Conjunto C, Lote 17
CEP 70800-400 - Brasília/DF
Tel.: +55 (61) 3038-9233
web.unep.org/regions/brazil

República Federativa do Brasil

Presidente da República

Michel Temer

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Gilberto Kassab

Secretário Executivo

Elton Santa Fé Zacarias

Secretário de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Jailson Bittencourt de Andrade

Diretor do Departamento de Políticas e Programas de Ciências

Sávio Túlio Oselieri Raeder

Coordenador-Geral do Clima

Márcio Rojas da Cruz

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – ONU Meio Ambiente

Diretor Executivo da ONU Meio Ambiente

Erik Solheim

Diretor Regional da ONU Meio Ambiente para América Latina e Caribe

Leo Heileman

Representante da ONU Meio Ambiente no Brasil

Denise Hamú

EQUIPE TÉCNICA DO MCTIC

Coordenador-Geral do Clima

Márcio Rojas da Cruz

Diretor Nacional do Projeto Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil

Ricardo Vieira Araujo

Coordenador do Projeto Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil

Antônio Marcos Mendonça

Coordenador Técnico do Projeto Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil

Régis Rathmann

EQUIPE TÉCNICA

Andréa Nascimento de Araújo

Lidiane Rocha de Oliveira Melo

Marcela Cristina Rosas Aboim Raposo

Moema Vieira Gomes Corrêa (Diretora Nacional do Projeto até outubro de 2016)

Rodrigo Henrique Macedo Braga

Sonia Regina Mudrovitsch de Bittencourt

Susanna Erica Busch

EQUIPE ADMINISTRATIVA

Ana Carolina Pinheiro da Silva

Andréa Roberta dos Santos Campos

Maria do Socorro da Silva Lima

Ricardo Morão Alves da Costa

EQUIPE TÉCNICA DA ONU MEIO AMBIENTE

Francine Costa Vaurof

Patricia Taboada

Guilherme Sattamini

Maria Claudia Cambraia

AUTOR

Lilia Caiado Coelho Beltrão Couto

Revisão

Anna Cristina de Araújo Rodrigues

Projeto Gráfico

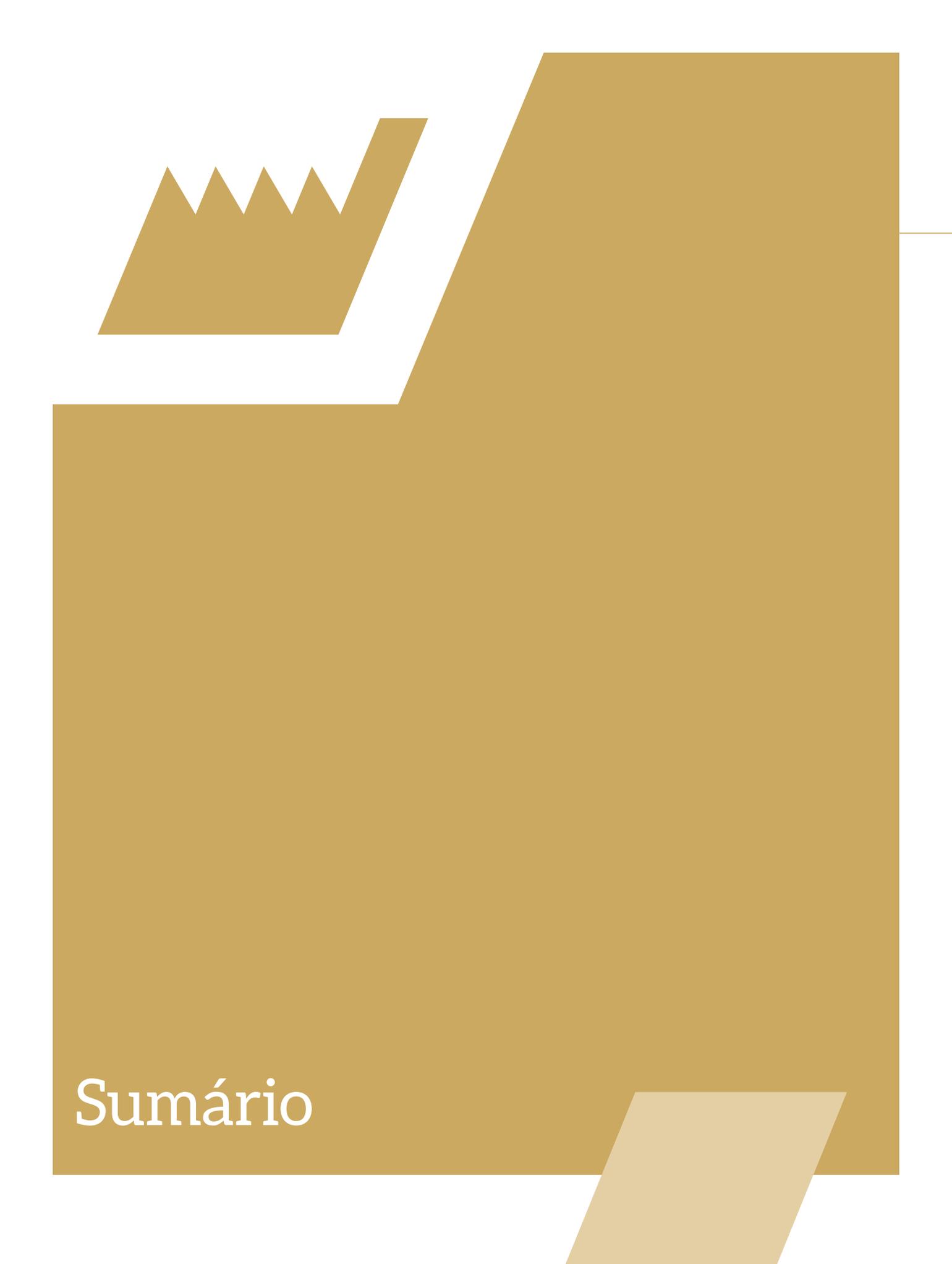
Capitular Design Editorial

Editoração

Phábrica de Produções: Alecsander Coelho e

Paulo Ciola (direção de arte); Ércio Ribeiro, Icaro Bockmann, Kauê Rodrigues, Marcelo Macedo e

Rodrigo Alves (diagramação)

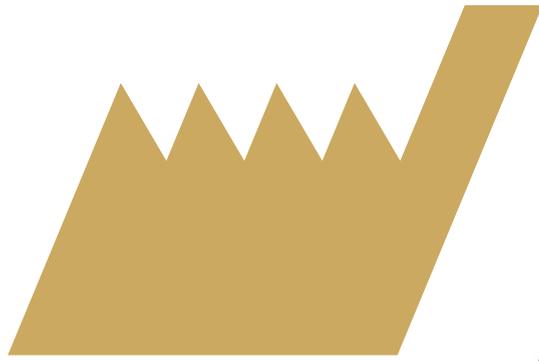
The image features a large, abstract composition of geometric shapes in shades of gold and brown. A prominent shape is a large, irregular polygon that occupies the right and bottom portions of the frame. In the upper left, there is a smaller, jagged shape resembling a sawtooth or a stylized mountain range. At the bottom right, a trapezoidal shape is partially visible. The overall aesthetic is clean and modern, with a focus on solid colors and sharp lines.

Sumário

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1 CARACTERIZAÇÃO SETORIAL	21
1.1 DESAGREGAÇÃO SETORIAL E PROCESSOS PRODUTIVOS	23
1.2 CONSUMO ENERGÉTICO E FONTES DE EMISSÃO DE GEE	38
2 MELHORES TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS APLICÁVEIS AOS PROCESSOS PRODUTIVOS DO SETOR.....	49
2.1 SISTEMAS DE VAPOR.....	49
2.2 SISTEMAS DE CALOR	51
2.3 MOTORES ELÉTRICOS.....	51
2.4 MTD DE APLICABILIDADE TRANSVERSAL	52
3 CENÁRIOS DE REFERÊNCIA, BAIXO CARBONO E BAIXO CARBONO COM INOVAÇÃO.....	55
3.1 CENÁRIO REF	56
3.1.1 Premissas.....	56
3.1.2 Resultados.....	59
3.2 CENÁRIO BC.....	60
3.2.1 Premissas	60
3.2.2 Resultados	62
3.2.3 Custos marginais de abatimento	64
3.3 CENÁRIO BC+I.....	69
3.3.1 Tecnologia inovadoras para o setor.....	70
3.3.2 Premissas	71
3.3.3 Resultados	73

4	SUBSÍDIOS À FORMULAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA A ADOÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO	77
4.1	BARREIRAS E COBENEFÍCIOS À IMPLEMENTAÇÃO DAS ATIVIDADES DE BAIXO CARBONO NO SETOR.....	78
4.2	SÍNTESE DAS EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS E NACIONAIS COM POLÍTICAS DE BAIXO CARBONO.....	80
4.3	INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA ADOÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO	84
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
	REFERÊNCIAS.....	92



Listas de tabelas,
figuras, quadros e
siglas e acrônimos

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção Física dos Principais Produtos do Setor em 2010	22
Tabela 2 – Consumo Energético por Fontes de Energia Combustível de 2009 a 2016	39
Tabela 3 – Consumo de Energia Final e Útil e Rendimento de Conversão por Combustível em 2004	40
Tabela 4 – Consumo de Energia Final e Útil e Rendimento de Conversão por Combustível em 2010	40
Tabela 5 – Consumo de Energia Final e Útil e Rendimento de Conversão por Uso Final em 2004.....	41
Tabela 6 – Consumo de Energia Final e Útil e Rendimento de Conversão por Uso Final em 2010	41
Tabela 7 – Distribuição do Consumo dos Combustíveis Utilizados na Indústria de Alimentos e Bebidas por Uso Final em 2004	42
Tabela 8 – Distribuição do Consumo dos Combustíveis Utilizados na Indústria de Alimentos e Bebidas por Uso Final em 2010	42
Tabela 9 – Consumo Energético Específico (MJ/t) por Produto e por Uso Final da Energia	43
Tabela 10 – Consumos Específicos de Eletricidade e Calor por Cadeia Produtiva do Segmento de Alimentos e Bebidas.....	44
Tabela 11 – Consumo Energético Total e por Uso Final, em TJ, das Principais Cadeias Produtivas do Setor em 2010	46
Tabela 12 – Distribuição do Consumo Energético por Fontes e Uso Final.....	56
Tabela 13 – Rendimentos de Conversão de Insumos Energéticos por Tecnologias no Cenário REF em 2010	57
Tabela 14 – Taxas Médias de Crescimento Aplicadas na Projeção de Demanda Energética.....	57

Tabela 15 – Fatores de Emissão de CO ₂ pelo Uso de Energéticos (Queima de Combustíveis).....	58
Tabela 16 – Fatores de Emissão de CO ₂ do SIN.....	58
Tabela 17 – Consumo de Energia do Setor de Alimentos e Bebidas no Cenário REF	59
Tabela 18 – Emissões de GEE do Setor de Alimentos e Bebidas no Cenário REF	59
Tabela 19 – Potenciais de Economia de Energia das MTD	60
Tabela 20 – Evolução das Eficiências de Conversão de Energia dos Equipamentos.....	61
Tabela 21 – Consumo de Energia do Setor de Alimentos e Bebidas no Cenário BC	62
Tabela 22 – Emissões de GEE do Setor de Alimentos e Bebidas no Cenário BC.....	63
Tabela 23 – Preços dos Combustíveis	65
Tabela 24 – Preços de Petróleo Considerados para o Cálculo do Custo Marginal de Abatimento das Possibilidades de Mitigação.....	66
Tabela 25 – Preços dos Combustíveis e da Eletricidade para a Taxa de Desconto de 8% ao ano.....	66
Tabela 26 – Custos de Capital e O&M das MTD.....	67
Tabela 27 – Custos e Potenciais Acumulados de Abatimento para Taxa de Desconto de 8% a.a.....	67
Tabela 28 – Custos e Potenciais Acumulados de Abatimento para Taxa de Desconto de 15% a.a.....	68
Tabela 29 – Potenciais de Economia de Energia e Aplicabilidade das Tecnologias Inovadoras.....	71
Tabela 30 – Consumo Energético por Tecnologia de Ruptura	72
Tabela 31 – Consumo de Energia do Setor de Alimentos e Bebidas no Cenário BC+I	73
Tabela 32 – Emissões de GEE do Setor de Alimentos e Bebidas no Cenário BC+I	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da Industrialização de Carnes.....	27
Figura 2 – Fluxograma de Extração de Óleo a Solvente	29
Figura 3 – Fluxograma Genérico do Processamento dos Derivados do Leite	32
Figura 4 – Fluxograma das Etapas de Fabricação do Chocolate.....	35
Figura 5 – Fluxograma do Processo de Produção da Cerveja.....	37
Figura 6 – Fluxograma do Processo de Produção do Suco	38
Figura 7 – Consumo Energético por Combustível de 1990 a 2016.....	39
Figura 8 – Distribuição do Consumo Energético, em GJ, nas Principais Cadeias Produtivas do Setor em 2010.....	47
Figura 9 – Demanda de Energia dos Cenário REF e BC	63
Figura 10 – Emissões de GEE nos Cenários REF e BC.....	63
Figura 11 – Preços de Petróleo para Três Cenários (1995-2040).....	66
Figura 12 – Curva de Custos Marginais de Abatimento com Taxa de Desconto de 8% ao ano.....	68
Figura 13 – Curva de Custos Marginais de Abatimento com Taxa de Desconto de 15% ao ano	69
Figura 14 – Demanda de Energia nos Cenários REF, BC e BC+I	74
Figura 15 – Emissões de GEE nos Cenários REF, BC e BC+I	75
Figura 16 – Instrumentos Utilizados por Países para Promover a Eficiência Energética na Indústria	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Desagregação do Setor de Alimentos e Bebidas de Acordo com a CNAE 2.0	24
Quadro 2 - Desagregação do Setor de Alimentos e Bebidas	25
Quadro 3 - Tecnologias Consideradas para o Setor de Alimentos e Bebidas.....	56
Quadro 4 - MTD Consideradas no Cenário BC	60
Quadro 5 - Tecnologias de Ruptura Avaliadas no Cenário BC+I	71
Quadro 6 - Quadro-resumo de Medidas, Barreiras e Instrumentos de Política Pública para Adoção dos Cenários de Baixo Carbono	87

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABIA – Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação
ABIC – Associação Brasileira das Indústrias de Café
AFOLU – Agricultura, florestas e outros usos do solo
BEN – Balanço Energético Nacional
BEU – Balanço de Energia Útil
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPEX – Investimentos de capital
CCA – Acordos climáticos
CCMA – Curva de custos marginais de abatimento
CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CENÁRIO BC – Cenário de baixo carbono
CENÁRIO BC+I – Cenário de baixo carbono com inovação
CENÁRIO REF – Cenário de referência
CH₄ – Metano
CHP – *Combined heat and power*
CIRAS – Center for Industrial Research and Service (Iowa State University)
CMA – Custos marginais de abatimento
CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNI – Confederação Nacional da Indústria
CO – Monóxido de carbono
CO₂ – Dióxido de carbono
COP15 – 15ª Conferência das Partes (Copenhague)
COP21 – 21ª Conferência das Partes (Paris)
CPC – Classificação Central de Produtos
DECC – Departamento de Energia e Mudança do Clima do Reino Unido
ECA – Subsídios Aprimorados de Bens de Capital
EECA – Autoridade de Eficiência Energética e Conservação de Energia da Nova Zelândia
EEO – Energy Efficiency Opportunities Program (Austrália)
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ETS – Certificados transacionáveis de emissões
EU ETS – Sistema Europeu de Certificados Transacionáveis de Emissões
FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FCOJ – *Frozen concentrated orange juice*
FGV – Fundação Getulio Vargas
FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
GEE – Gases de efeito estufa
GEF – Global Environment Facility
GJ – Gigajoule
GLP – Gás liquefeito de petróleo
HFC – Hidrofluorcarboneto
HVAC – Aquecimento, ventilação e ar-condicionado
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA – Agência Internacional de Energia
IEEDA – Industrial Energy Efficiency Data Analysis Project (Austrália)
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
IPPC – Escritório de Controle e Prevenção Integrado da Poluição da Comissão Europeia
LULUCF – Uso da terra, mudança de uso da terra e florestas
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDL – Mecanismo de desenvolvimento limpo
MF – Ministério da Fazenda
MME – Ministério de Minas e Energia
MRV – Monitoramento, relato e verificação
MtCO₂ – Tonelada métrica de dióxido de carbono
MTD – Melhores tecnologias disponíveis
N₂O – Óxido nitroso
NCM – Nomenclatura Comum do Mercosul
NGER – National Greenhouse and Energy Reporting (Austrália)
NMVOC – Compostos orgânicos voláteis não metânicos
O&M – Operação e manutenção
OPEX – Gastos operacionais

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
PEE – Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição de Energia
PFC – Compostos perfluorados
PIA 2012 – Pesquisa Industrial Anual 2012
PIB – Produto interno bruto
PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética
PNMC – Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRODLIST – Lista de Produtos da Indústria
SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
SF₆ – Hexafluoreto de enxofre
SPE – Sociedade de propósito específico
TCN – Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
tep – Tonelada equivalente de petróleo
TJ – Terajoule
UHT – *Ultra high temperature*
UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
US EIA – US Energy Information Administration
VSD – *Variable speed drives*

The image features a large, solid gold-colored shape that occupies most of the frame. In the upper left, there is a smaller, jagged gold shape resembling a stylized mountain range or a series of peaks. In the bottom right corner, there is a light beige trapezoidal shape. The word "Introdução" is written in white, serif font in the bottom left corner of the gold area.

Introdução

INTRODUÇÃO

A questão das mudanças climáticas tem sido, cada vez mais, um entrave ao desenvolvimento sustentável. O Brasil, nesse contexto, tem se posicionado de maneira ativa nas negociações climáticas globais, propondo metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Segundo o World Bank (2016), o país desempenhou papel fundamental na formulação do quadro climático para a 21ª Conferência das Partes (COP21), que culminou com o Acordo de Paris. Na ocasião, o Brasil comprometeu-se a reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, com possível esforço para chegar à redução de 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030.¹ Essa meta é considerada absoluta, pois estabelece um teto de emissões, diferentemente do ocorrido na COP15, em Copenhague, no ano de 2009, quando o Brasil assumiu uma meta voluntária relativa, de redução de suas emissões em relação a uma projeção para o ano de 2020.

As emissões são referentes à totalidade das emissões nacionais, incluindo CO₂, CH₄, N₂O, PFC, HFC e SF₆, já estimados no inventário nacional. O percentual de redução das emissões será aplicado às emissões do ano-base de 2005, com os gases sendo convertidos a CO₂e, usando-se a métrica GWP-100 do AR5.² Para a estimativa dos gases, serão utilizadas as metodologias do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) para inventários nacionais. Faz-se menção explícita à possibilidade de utilização das remoções, ou seja, retirada de dióxido de carbono da atmosfera pelas florestas manejadas, na composição das emissões nacionais. Esse método é exatamente o que se utiliza desde a Segunda Comunicação Nacional à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), contendo o Segundo Inventário Nacional de GEE.

Avaliando-se os setores da economia brasileira, no que concerne às emissões de GEE, a maior parcela das emissões líquidas estimadas de CO₂e, segundo o GWP-100 do AR5, é proveniente do setor agropecuário e uso e mudança do uso da terra e florestas (Afolu), correspondendo a aproximadamente 61% das emissões totais no ano de 2010 (MCTIC, 2016). Em segundo lugar, vem o setor de energia, com 27%, e, em seguida, processos industriais, com cerca de 7% das emissões totais de CO₂ nesse ano. Porém, ao considerar exclusivamente as emissões relacionadas com o consumo de energia, o setor industrial passaria a ser responsável por cerca de 1/3 das emissões totais (HENRIQUES JR., 2010; MCTIC, 2016). Nesse contexto, o setor industrial tem papel

1 De acordo com a Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTI, 2010).

2 Métrica de conversão para dióxido de carbono equivalente do 5º relatório de avaliação do IPCC (MCTIC, 2016).

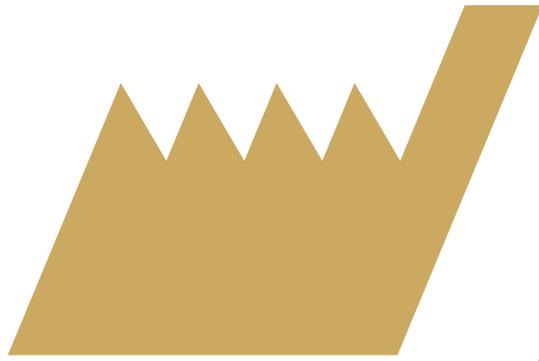
relevante para a mitigação de emissões de GEE (HENRIQUES JR., 2010; BORBA et al., 2012; CNI, 2010; RATHMANN, 2012), o que justifica a implementação de política pública nesse sentido, qual seja o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação, comumente chamado de Plano Indústria (FGV, 2015).

Apesar da ambição, os esforços de mitigação e potenciais contribuições setoriais não foram detalhados setorialmente e sequer sua viabilidade técnico-econômica foi avaliada junto à Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil ao Acordo de Paris. Nesse contexto, o projeto “Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil”, financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (Global Environment Facility – GEF) e implementado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), pode contribuir significativamente, na medida em que objetiva ajudar o governo brasileiro a reforçar sua capacidade técnica de apoiar a implementação de ações de mitigação de emissões de GEE em setores-chave da economia.

No âmbito do setor de alimentos e bebidas, o objetivo é identificar as possibilidades de mitigação de emissões de GEE. Adicionalmente, serão avaliados barreiras, cobenefícios e potenciais efeitos adversos à adoção das atividades de baixo carbono para, partindo disso, serem propostos instrumentos de política pública capazes de viabilizá-las.

Para responder a esse objetivo, o presente trabalho é composto por uma introdução, quatro capítulos e as considerações finais. O capítulo 1 tratará de caracterizar os principais processos produtivos do setor, bem como apresentará os consumos energéticos específicos em nível desagregado. No capítulo 2, serão detalhadas as melhores tecnologias disponíveis (MTD), visando, direta ou indiretamente, mitigar emissões de GEE. No capítulo 3, apresentar-se-ão os cenários de referência (REF), baixo carbono (BC) e baixo carbono com inovação (BC+I) construídos para o setor. No capítulo 4, serão identificados barreiras e cobenefícios à implementação das MTD e instrumentos aplicáveis, visando à adoção dos cenários de baixo carbono. Por fim, serão apresentadas as considerações finais do presente estudo.

Semelhantemente aos estudos de De Gouvello (2010) e La Rovere et al. (2016), este relatório considera uma avaliação setorial, por meio da construção de cenários de emissões de GEE, que tem como limitação a inobservância de possíveis efeitos de não aditividade dos potenciais de mitigação do sistema energético (MCTIC, 2017a; 2017b), que abrange os diferentes segmentos industriais. De fato, a avaliação setorial é relevante, sobretudo, para realizar o mapeamento das MTD, visando à mitigação setorial de emissões de GEE, para, partindo disso, constituir uma base de dados para a modelagem dos setores industriais em cenários integrados de abatimento de emissões do sistema energético e do setor de agricultura, florestas e outros usos do solo. Deve-se enfatizar que resultarão desses cenários integrados estimativas robustas dos potenciais e custos de abatimento desses setores, as quais serão reportadas no relatório *Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono* (MCTIC, 2017b). Portanto, o reporte de projeções de emissões e custos marginais de abatimento neste estudo setorial objetiva, meramente, a comparação com os resultados oriundos da integração dos cenários por meio dos modelos MSB8000, Otimizagro e Efes, de modo a enfatizar a importância dessa metodologia.



Caracterização setorial

Capítulo

1

1 CARACTERIZAÇÃO SETORIAL

O segmento industrial de alimentos e bebidas no Brasil é bastante heterogêneo, apresentando produtos e atividades notadamente diversificados. De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2010), no ano de 2010, eram produzidos neste segmento mais de 850 produtos distintos, em cerca de 42 mil plantas industriais, detidas por mais de 32 mil empresas formais (ABIA, 2014). É um setor de suma importância para a economia do país, dada sua expressiva participação no PIB nacional e, em especial, no PIB industrial, além de apresentar historicamente saldos substancialmente positivos em sua balança comercial. Alguns de seus produtos, como o café e as carnes, figuram entre os principais componentes das exportações brasileiras. De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (MME/EPE, 2013), o setor, bastante eletrointensivo, tem sido, nos últimos anos, o maior consumidor de energia dentre as indústrias, dados os altos volumes produzidos.

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação (ABIA, 2014), o setor de alimentos e bebidas foi, no ano de 2012, o maior segmento da indústria brasileira em valor bruto da produção, com R\$ 353,9 bilhões em alimentos e R\$ 78 bilhões em bebidas. Com isso, o segmento foi responsável, no mesmo ano, por 9% do PIB nacional e 18,2% do PIB da indústria de transformação no país (ABIA, 2014). O Brasil é líder mundial em exportações de açúcar, carnes e derivados e suco de laranja, e, juntamente com esses produtos, o café solúvel e o farelo de soja compõem os cinco principais produtos exportados pelo setor. Dessa forma, o segmento vem apresentando, na última década, saldos na casa dos US\$ 30 bilhões positivos em sua balança comercial, tendo esse saldo sido, em 2012, de US\$ 37 bilhões (ABIA, 2014). Considerando-se os principais produtos dentre os cerca de 850 fabricados pelo setor, seus volumes de produção, referentes ao ano de 2010, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Produção Física dos Principais Produtos do Setor em 2010

Cadeias Produtivas e Produtos	Produção (toneladas)
Derivados de carne	
Carne bovina	6.173.558
Carne Suína	3.579.360
Frango	9.174.512
Beneficiamento de café, chá e cereais	
Café torrado e moído	536.274
Café solúvel	98.708
Farinha de trigo (moagem)	5.541.874
Arroz beneficiado	1.011.526
Óleos e gorduras	
Refino de óleo de soja	5.145.530
Refino de óleos vegetais	87.361
Margarina	878.646
Derivados de leite	
Leite pasteurizado	1.846.187
Leite longa vida UHT	5.550.551
Leite em pó	590.756
Leite flavorizado	72.438
Leite condensado	554.837
Cremes de leite	338.919
Iogurtes	802.307
Queijos	735.337
Manteiga	84.010
Requeijão	172.308
Bebidas lácteas	622.850
Sorvetes	396.129
Derivados do trigo	
Biscoitos e bolachas	1.703.519
Panificação	936.483
Massas alimentícias	1.477.390
Derivados de frutas e vegetais	
Doces de frutas em pasta e massa	207.338
Extratos e concentrados de tomate	350.970
Diversos	
Preparo de alimentos para animais	26.824.122
Chocolate, cacau e balas	
Balas e confeitos semelhantes	453.288
Chocolate em barras ou tabletes*	184.396
Chocolates em pó	88.706
Bombons*	184.396
Conservas de pescado	
Peixe enlatado em conservas	102.747
Peixes congelados	160.319
Bebidas	
Cerveja, chope e malte	13.243.165
Refrigerantes	16.516.115
Suco e concentrado de laranja	1.086.308

*Estimados, dado encontrado agrega os dois produtos

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE, 2014a

1.1 DESAGREGAÇÃO SETORIAL E PROCESSOS PRODUTIVOS

As principais fases da fabricação de um produto alimentício são definidas, em linhas gerais, como beneficiamento, elaboração, fase de preservação e conservação e fase de armazenamento (EVANGELISTA, 2008). A fase de beneficiamento inclui as etapas de colheita, transporte, limpeza, classificação e seleção dos alimentos. A fase de elaboração envolve descascamento e corte, moagem ou trituração, separação, extração e mistura. A fase de preservação e conservação envolve métodos químicos, físicos e irradiação para eliminar a flora normal inconveniente e patogênica, além de enzimas produtoras de alterações. Por fim, a fase de armazenamento envolve o controle da temperatura e da umidade e a modificação da atmosfera local, como refrigeração e congelamento.

De acordo com Henriques Jr. (2010), o segmento apresenta diversos processos fabris de baixa complexidade, realizados a baixas temperaturas. Tais processos podem ser subdivididos em operações, que, por sua vez, podem ser agrupadas de acordo com a natureza dos seus usos finais da energia, da seguinte forma (CNI, 2010):

- Aquecimento direto: envolve operações de assar, tostar, aquecer em atmosfera controlada, secar e esterilizar;
- Calor de processo: envolve operações de branqueamento,³ cozimento, destilação, evaporação, fritura, pasteurização, fermentação, aquecimento, esterilização e limpeza;
- Refrigeração: inclui resfriamento e congelamento, resfriamento sem refrigeração direta, utilizando convecção forçada de água, armazenamento com refrigeração e congelamento e condicionamento de ar;
- Força motriz: refere-se a operações de extrusão,⁴ moagem, trituração, pulverização, mistura e separação;
- Iluminação: é a iluminação dos prédios e plantas produtivas.

Segundo a CNI (2010), as principais operações consumidoras de energia realizadas nas cadeias produtivas de alimentos e bebidas são: secagem, processos de separação (evaporação e destilação), cozimento e esterilização. As operações que apresentam maior consumo de energia elétrica especificamente são, em sua maioria, de natureza mecânica ou física, a saber: refrigeração, resfriamento e congelamento, extrusão, moagem, trituração ou pulverização e bombeamento de fluidos.

Desagregação do setor de alimentos e bebidas, dado o número de produtos distintos produzidos, significa avaliar a forma mais adequada de agrupá-los em conjuntos homogêneos com relação a cadeias produtivas, processos e operações envolvidos. Como mencionado, de acordo com a CNI (2010), no ano de 2010, eram produzidos mais de 850 produtos distintos, em cerca de 42 mil plantas industriais. A Pesquisa Industrial Anual realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referente ao ano de 2012 (IBGE, 2014b) apresenta os resultados do segmento divididos em 377 grupos de produtos semelhantes, agrupados, por sua vez, em 34 categorias. É, portanto, de suma importância para o setor que se identifiquem suas diferentes cadeias produtivas, encontrando a forma mais adequada de desagregação para que seja possível propor as medidas de mitigação aplicáveis.

3 Imersão em vapor ou água fervendo para preservação ou descascamento (CNI, 2010).

4 Pressurização mecânica através do bocais.

O critério de classificação utilizado pela PIA 2012 foi divulgado pelo IBGE como o critério para a nova metodologia adotada para as contas nacionais a partir do ano-base 2010 (IBGE, 2013), qual seja a Lista de Produtos da Indústria – Prodlist 2010 (IBGE, 2014c), que tem como base a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) versão 2.0 (IBGE, 2014d). A seção C da CNAE 2.0 corresponde às indústrias de transformação, dentre as quais a divisão nº 10 corresponde à fabricação de produtos alimentícios. O segmento de bebidas encontra-se em outra divisão da indústria de transformação, a de nº 11. Essa desagregação está representada no Quadro 1.

Quadro 1 – Desagregação do Setor de Alimentos e Bebidas de Acordo com a CNAE 2.0

CNAE 2.0 Seção C – Indústrias de Transformação
Divisão 10 – Fabricação de Produtos Alimentícios
Abate e fabricação de produtos de carne
Preservação do pescado e fabricação de produtos do pescado
Fabricação de conservas de frutas, legumes e outros vegetais
Fabricação de óleos e gorduras vegetais e animais
Laticínios
Moagem, fabricação de produtos amiláceos e de alimentos para animais
Fabricação e refino de açúcar
Torrefação e moagem de café
Fabricação de outros produtos alimentícios
Divisão 11 - Fabricação de Bebidas
Fabricação de bebidas alcoólicas
Fabricação de bebidas não alcoólicas

Fonte: IBGE, 2014d

Cada um dos grupos contém diferentes classes, que, por sua vez, contém subclasses. A Prodlist desenvolve ainda mais a desagregação dos produtos do setor, articulando a CNAE 2.0 com a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) e a Classificação Central de Produtos (CPC), chegando, assim, aos 377 agrupamentos finais mencionados (IBGE, 2014d).

Por outro lado, a CNI, em seu relatório setorial de alimentos e bebidas da série “Oportunidades de Eficiência Energética na Indústria” (CNI, 2010), realizou uma desagregação do setor em subsegmentos considerados homogêneos não só no que se refere aos seus produtos, mas, em especial, no que se refere ao seu processo produtivo, às operações envolvidas e seu consumo energético. Chegou-se, inclusive, a valores para consumos energéticos específicos de cada um dos principais produtos dessas cadeias produtivas e, dentro disso, para cada uso final da energia. A divisão dos grupos e seus respectivos produtos principais podem ser vistos no Quadro 2.

Quadro 2 – Desagregação do Setor de Alimentos e Bebidas

Derivados de carne
Carne bovina Carne suína Frango Abate e preparo de aves
Beneficiamento de café, chá e cereais
Café torrado e moído Café solúvel Farinha de trigo (moagem) Arroz beneficiado
Óleos e gorduras
Refino de óleo de soja Refino de óleos vegetais Margarina
Derivados de leite
Leite pasteurizado Leite longa vida UHT Leite em pó Leite flavorizado Leite condensado Cremes de leite Iogurtes Queijos Manteiga Requeijão Bebidas lácteas Sorvetes
Derivados do trigo
Biscoitos e bolachas Panificação Massas alimentícias
Derivados de frutas e vegetais
Doces de frutas em pasta e massa Extratos e concentrados de tomate
Diversos
Preparo de alimentos para animais
Chocolate, cacau e balas
Balas e confeitos semelhantes Chocolate em barras ou tabletes Chocolates em pó Bombons
Conservas de pescado
Peixe enlatado em conservas Peixes congelados Pescado
Bebidas
Cerveja, chope e malte Refrigerantes Suco e concentrado de laranja

Fonte: Elaboração própria com base em CNI, 2010

Para os fins desta análise, o subsegmento de açúcares fica excluído do segmento industrial de alimentos e bebidas, pois foi analisado no relatório *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de biocombustíveis*, juntamente com a produção de etanol (MCTIC, 2017c).

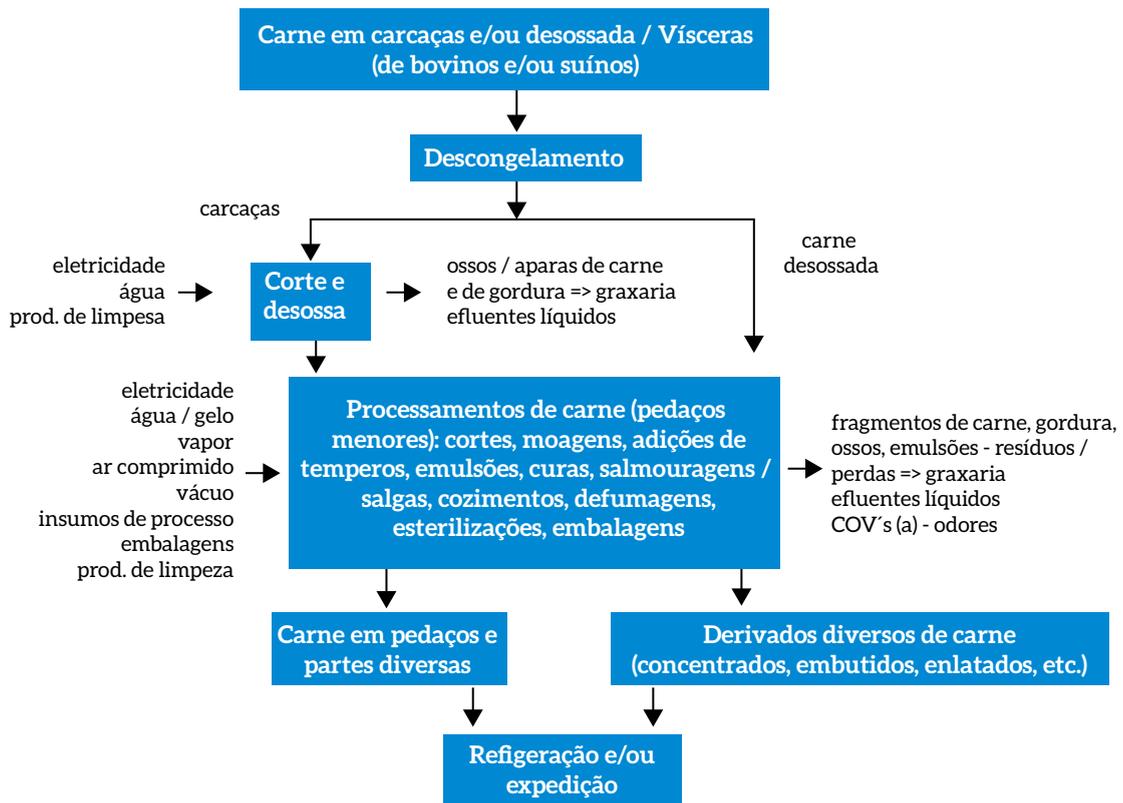
A desagregação foi feita basicamente de acordo com os usos finais da energia nas operações envolvidas nos diferentes processos produtivos, a saber: força motriz, calor de processo (vapor), calor de processo (água quente), aquecimento direto (fornos), aquecimento indireto (secadores), refrigeração, iluminação, eletroquímica e outros. Esses processos produtivos, referentes a cada uma das cadeias produtivas principais, são descritos a seguir.

DERIVADOS DE CARNE

De acordo com Tremarin (2006), o processamento de carnes engloba as etapas de abate, desossa e separação dos cortes. Posteriormente, o produto pode passar pelas etapas adicionais de salga, defumação, congelamento ou salsicharia. Segundo Venturini et al. (2007), o processamento da carne atua sobre enzimas e microrganismos de caráter degradativo, de forma a prolongar a vida de prateleira dos produtos. Assim, após a realização dos cortes, as carnes são resfriadas ou congeladas, sendo necessária a manutenção da temperatura durante toda a cadeia até o consumidor final. As carnes resfriadas são mantidas na faixa de temperatura entre $-1,5^{\circ}\text{C}$ e 5°C ; as carnes congeladas são mantidas na faixa entre -12°C e -18°C ; e as supercongeladas, abaixo de -18°C . A outra forma de conservação apontada por Tremarin (2006) é a conservação via calor, com o emprego de temperaturas entre 75°C e 100°C , dando origem à chamada carne curada. A defumação pode ser realizada a quente ou a frio, em estufas construídas para essa finalidade.

O abate é realizado em matadouros, e o processamento da carcaça (carne e ossos) e das vísceras comestíveis é realizado em frigoríficos. Há frigoríficos que têm seus próprios abatedouros, e outros que não abatem a carne, comprando carcaças e cortes de matadouros para realizar a industrialização. Por fim, as graxarias processam os subprodutos ou resíduos dos abatedouros e frigoríficos, como ossos, sangue, gordura, aparas de carne e vísceras não comestíveis, dando origem ao sebo ou a gordura animal e farinhas de carne e ossos para rações (PACHECO, 2006).

Segundo Pacheco (2006), o consumo energético dessa cadeia produtiva se dá da seguinte forma: a energia térmica é utilizada para esterilização e limpeza dos frigoríficos sob a forma de vapor e água quente, e sob a forma de vapor somente nas graxarias anexas, para cozimento e secagem das matérias-primas. A eletricidade é utilizada em especial para refrigeração, produção de ar comprimido, iluminação e ventilação dos frigoríficos.



(a) COV's = compostos orgânicos voláteis

Figura 1 – Fluxograma da Industrialização de Carnes

Fonte: PACHECO, 2006

BENEFICIAMENTO DE CAFÉ, CHÁ E CEREAIS

Café: segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Café (ABIC, 2014), o processo de fabricação do pó de café pode ser considerado simples e envolve as seguintes etapas: composição do *blend* do café, torrefação, moagem, embalagem e armazenagem. A composição do *blend* é um trabalho essencialmente manual. A etapa seguinte, de torra ou torrefação, é realizada em torradores, onde os grãos são aquecidos até o ponto de torra. Os grãos são então armazenados em silos ou encaminhados diretamente à moagem, em moedores, dependendo da demanda do mercado. Uma vez moído, o pó é empacotado e a embalagem é selada para comercialização.

Café solúvel: o café solúvel é fabricado a partir do pó de café, com etapas adicionais ao processo descrito para a produção do café comum. Após a moagem, vêm extração, tratamento do extrato, recuperação do aroma e concentração do extrato. Esse extrato passa pela secagem, que pode ser feita de duas formas distintas, a saber, via congelamento por *freeze drying*, ou liofilização, e por secagem de pulverizador, chamada de *spray drying*. O *freeze drying* remove a água por sublimação, com o congelamento e o aumento da pressão, e resulta em café granulado. O *spray drying* utiliza altas temperaturas sob alta pressão para volatilizar o extrato aquoso, dando origem ao café solúvel em pó (REVISTA CAFEICULTURA, 2014). Outra forma de produzir o café solúvel no Brasil é com adição de óleo de café, que resulta em grãos de boa solubilidade, chamado de aglomerado.

Farinha de trigo: a farinha de trigo é obtida pela moagem dos grãos em moinhos, cujo objetivo é separar o endosperma (farinha) da casca (farelo) e do germe. A moagem, portanto, retira o farelo e o germe, além de uma camada de aleurona, com proteínas de baixo valor comercial.

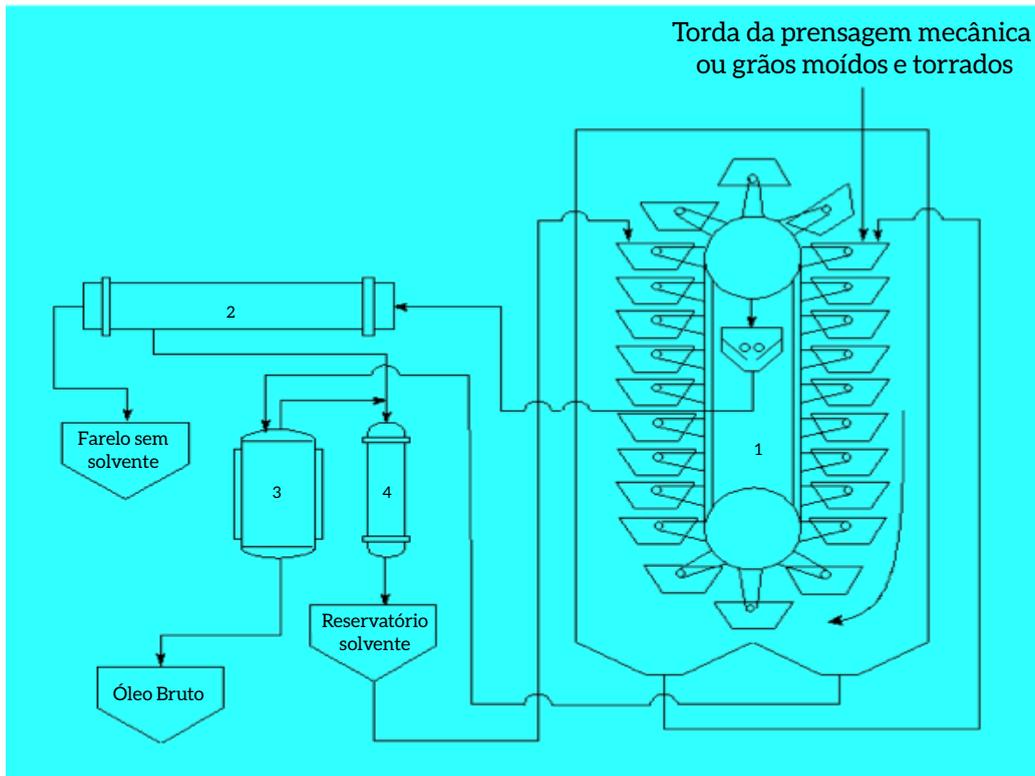
Arroz beneficiado: para obtenção do arroz beneficiado polido, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2014), os grãos são primeiramente submetidos à limpeza e, em seguida, ao descascamento. Os grãos descascados integrais passam pela etapa de brunição, em que o arroz contendo farelo é lixado por brunidores, máquinas compostas por pedras abrasivas que retiram esse farelo e separam o arroz branco, e passa-se à homogeneização por meio da retirada do farelo remanescente aderido aos grãos em máquinas que utilizam *sprays* de água e ar. São, então, realizadas as etapas de classificação, para que sejam utilizados apenas grãos inteiros, de embalagem e expedição (EMBRAPA, 2014).

ÓLEOS E GORDURAS

Quanto aos óleos vegetais, podem-se identificar algumas operações unitárias básicas utilizadas pela indústria para sua extração. Há, primeiramente, o processo de prensagem mecânica, que extrai óleos e gorduras vegetais através das chamadas prensas contínuas. Nesses equipamentos, os grãos ou frutos passam por parafusos com a forma de roscas sem fim, comprimindo e movimentando o material para frente. Ao final do processo, são obtidos a torta, que consiste na parte sólida resultante do material, e o óleo ou gordura brutos. Esse óleo ou gordura brutos passam, então, por um processo de filtragem em um equipamento chamado de filtro-prensa. Posteriormente, a torta será encaminhada para o processo de extração com solvente e o óleo ou gordura, para as etapas de purificação (RAMALHO; SUAREZ, 2013).

A obtenção de óleos por extração a solvente é aplicada à torta resultante da extração a frio, como mencionado, e a oleaginosas com pouco conteúdo em óleo. Nesse processo, segundo Ramalho e Suarez (2013), os grãos passam primeiramente por moagem e torrefação, e a solubilização do óleo em solvente pode ocorrer por dois mecanismos: dissolução por simples contato entre as células vegetais destruídas e difusão, pela qual o óleo atravessa lentamente as paredes semipermeáveis das células intactas para o meio líquido.

Por fim, o óleo bruto passa pelas etapas de refino para que possa ser consumido. A primeira etapa do refino – degomagem – retira fosfatídeos, proteínas e outras substâncias coloidais, a partir da adição de água a aproximadamente 70°C, por um período entre 20 e 30 minutos. A mistura resultante é, então, centrifugada, dando origem ao chamado óleo degomado, e encaminhada para a neutralização. Nessa etapa, adiciona-se ao óleo uma solução aquosa de hidróxido de sódio, que reage com os ácidos graxos livres, formando sabões. Ao fim, o óleo passa pela etapa de clarificação ou branqueamento, em que seus compostos solúveis são removidos via adsorção destes na superfície de uma mistura de carvão ativado com argilas naturais, conhecidas como terra clarificante (RAMALHO; SUAREZ, 2013).



Legenda: 1 - Extrator; 2 - Torrefador de farelo; 3 - Evaporador contínuo; 4 - Condensador de solvente

Figura 2 – Fluxograma de Extração de Óleo a Solvente

Fonte: RAMALHO; SUAREZ, 2013

DERIVADOS DO LEITE

A classificação de derivados do leite inclui diversos produtos, mas as operações fundamentais e comuns a todos são (MARGANHA, 2006): primeiramente, há a recepção do leite e demais ingredientes. O leite é encaminhado aos tanques de recepção, onde será refrigerado a temperaturas entre 3°C e 5°C, até sua utilização no processamento, que consiste na segunda etapa. Nessa etapa, o leite *in natura* passa por operações de filtração, resfriamento, clarificação, via centrifugação, padronização e pasteurização ou esterilização. Em seguida, passa por tratamento térmico, aquecendo-o, para assegurar a eliminação de microrganismos patogênicos. Após essa etapa, o leite é encaminhado para a elaboração dos demais produtos.

Leite pasteurizado: durante a clarificação, é realizado o desnate, separando leite desnatado e creme. O creme passa por homogeneização e então ambos passam pela padronização. O leite padronizado vai para pasteurização. No processo de pasteurização, o leite é submetido a temperaturas entre 62°C e 65°C por 30 minutos, no caso de pasteurização baixa ou lenta, e a temperaturas entre 71°C e 75°C pelo período de 15 a 45 segundos, no caso de pasteurização rápida. Há também a pasteurização alta, que pode ser realizada submetendo o leite a temperaturas entre 85°C e 92°C por 8 a 15 segundos.

Leite longa vida UHT: o leite longa vida define-se como o leite que passa pelo processo de ultra-pasteurização, pelo sistema *ultra high temperature* (UHT). Nesse processo, é submetido a uma temperatura entre 130°C e 150°C por 2 a 4 segundos, em processo térmico de fluxo contínuo. Em seguida, é resfriado a uma temperatura de cerca de 32°C e envasado. De acordo com Zanola (2009), há dois tipos de sistema UHT utilizados no mercado. O sistema direto, em que o produto entra em contato direto com o meio de aquecimento, e subdivide-se, por sua vez, em dois tipos: sistema de injeção de vapor (vapor injetado no produto) e sistema de infusão de vapor (o produto é introduzido em uma câmara a vapor). No sistema indireto, o calor é transferido do meio de aquecimento para o leite por meio de uma parede divisória e pode ser baseado em trocadores de placa, tubulares ou com superfície raspada.

Leite em pó: o leite em pó é produzido via desidratação do leite de vaca comum. Adiciona-se lecitina de soja ao leite para que posteriormente tenha maior solubilidade em água, encaminhando-o para o concentrador a vácuo, que realiza a evaporação, reduzindo o conteúdo de água do leite de cerca de 87% para cerca de 57%. Após a evaporação, realiza-se a secagem, que pode ser feita via secador de cilindros ou pela tecnologia *spray drying* (NICOLINI, 2008). O processo *spray drying*, mais utilizado por conferir menor modificação físico-química ao produto final, consiste na atomização do líquido, pulverizando o leite concentrado em microgotículas no interior de uma câmara de dessecação, onde circula o ar a uma temperatura entre 150°C e 220°C, gerando a evaporação da água restante.

Leite flavorizado: para a produção do leite flavorizado, utiliza-se leite desnatado, que passa primeiramente pela etapa de adição de açúcar e, depois, por pasteurização e resfriamento imediato para 10°C. Após o resfriamento, ocorre a mistura de aromatizantes e colorantes ao leite. O leite flavorizado pode então ser embalado (PRACTICAL ACTION, 2006).

Leite condensado: para a fabricação do leite condensado, após a pasteurização, o leite é bombeado até o misturador de açúcar. A mistura segue para o aquecedor tubular, onde será aquecida, para ser levada, a seguir, ao concentrador de três efeitos a vácuo, onde a água presente no leite será evaporada, reduzindo sua quantidade de 87% para 27% do leite. O leite condensado é imediatamente resfriado a 23°C, e a lactose esterilizada é adicionada para impedir que o açúcar se cristalice (ITAMBÉ, 2014a).

Crems de leite: para a obtenção do creme de leite, após clarificação e obtenção do creme, o leite desnatado obtido é levado a um tanque, onde são adicionados espessantes, estabilizantes e leite em pó, permanecendo em circulação por 15 minutos. Após esse período, o creme, resfriado a 10°C, é adicionado a essa mistura sob agitação lenta. Realiza-se, então, a esterilização da mistura final, submetendo-a à temperatura de 140°C de 2 a 4 segundos, para resfriá-la imediatamente à temperatura entre 20°C e 24°C (ITAMBÉ, 2014b).

Iogurtes: a produção do iogurte pode ser dividida em dois processos diferentes, a saber: iogurtes consistentes e iogurtes batidos e líquidos. Para ambos os processos, o leite padronizado e pasteurizado é resfriado a uma temperatura de 42°C, passando pela inoculação do fermento, etapa em que 1% a 2% de fermento lácteo preparado são adicionados para ativação das culturas de microrganismos que consomem a lactose. A partir dessa etapa, os processos se diferenciam. Para o iogurte consistente, ou tradicional, a etapa seguinte é a de envase, de forma que a fermentação ocorre dentro da própria embalagem. Para os iogurtes batidos e líquidos, a etapa seguinte é a de incubação no interior da fermenteira e agitação. O iogurte líquido segue para o envase e posterior resfriamento a 6°C, enquanto o iogurte batido é primeiramente resfriado aos mesmos 6°C e então segue para o envase (ROBERT, 2008).

Queijos: apesar da diversidade de queijos, existe um padrão no que se refere ao seu processo de produção. Primeiramente, são adicionadas as culturas ao leite pasteurizado e padronizado para a porcentagem de gordura desejada, como coalho, fermento, ácidos, nitratos e enzimas. Esse leite passa pelo tanque de coagulação, onde, à temperatura entre 28°C e 35°C, é preparado para formar um bloco sólido e macio: coágulo ou coalhada. A seguir, é feito o corte da coalhada, passando-a para a fase de agitação e cozimento. Nessa fase, o soro é eliminado e a fase restante da coalhada, chamada de massa, é agitada para tornar-se mais firme, sendo o tempo de agitação médio de 30 minutos. O cozimento é realizado durante a agitação, aplicando-se calor direta ou indiretamente aos grãos da massa (MARGANHA, 2006). A etapa seguinte consiste na enformagem e prensagem, de onde a massa segue para a salga, realizada, no Brasil, majoritariamente através de salga seca ou salmoura. A seguir, os queijos seguem para a secagem, quando são deixados em geladeira ou ambiente arejado por três a cinco dias, seguindo, depois, para maturação e embalagem (MARGANHA, 2006).

Manteiga: a fabricação da manteiga parte do creme obtido na fase de clarificação do leite, que, por sua vez, passa por padronização para obtenção da porcentagem de gordura necessária e correção da acidez. O creme é, então, pasteurizado e segue para maturação e repouso. Após o repouso, o creme é bombeado para uma bateadeira contínua para que a gordura seja separada do leitelho, dando origem aos grãos de manteiga (ITAMBÉ, 2014c). Realiza-se, depois, a lavagem dos grãos de manteiga com água no interior da bateadeira, onde ocorre a salga. A manteiga passa, então, por amassamento denominado malaxagem, que reagrupa os grãos para compor uma massa homogênea. Por fim, é moldada e embalada (ITAMBÉ, 2014c).

Requeijão: a produção do requeijão parte do leite desnatado, passando por coagulação e aquecimento, como descrito no processo produtivo dos queijos. São feitas a dessoragem e a lavagem da massa, adicionando-se, em seguida, o creme do leite e demais ingredientes. Os ingredientes são misturados a alta rotação por 30 a 60 segundos, passando a baixa rotação para que seja realizada a fusão da mistura, aquecida a 95°C. O requeijão segue, por fim, para o envase (MARGANHA, 2006).

Bebidas lácteas: as bebidas lácteas podem ser divididas entre bebidas lácteas fermentadas e não fermentadas, com processamentos muito semelhantes. As bebidas têm o açúcar adicionado ao soro do leite antes que este seja aquecido, sendo a mistura aquecida a 70°C sob constante agitação. Adiciona-se o leite à mistura, aquecendo-a novamente a 90°C por 5 minutos, ainda sob constante agitação. Em seguida, essa mistura é resfriada à temperatura entre 42°C e 45°C. No caso da bebida fermentada, a cultura é adicionada após o resfriamento, mantendo-se essa temperatura por 3 a 4 horas para alcançar a fermentação desejada. A bebida passa por duas etapas posteriores de resfriamento, uma até 20°C e outra para uma temperatura entre 3°C e 5°C. Por fim, são adicionados os aromatizantes e corantes (SENAR, 2010).

Sorvetes: no processo de fabricação de sorvetes, o leite padronizado recebe o açúcar e os primeiros aditivos, sendo feita a mistura desses ingredientes, seguida da pasteurização. A calda passa por homogeneização, a uma temperatura entre 70°C e 80°C, com resfriamento rápido posterior, levando-a a uma temperatura de 7°C a 10°C. Em seguida, são adicionados os ingredientes sensíveis ao calor, e a calda é transferida às tinas de maturação, onde permanece de 4 a 24 horas, a uma temperatura entre 2°C e 5°C. A próxima etapa é de batimento da calda e congelamento a -6°C. Por fim, o sorvete é envasado e passa pelo congelamento final, à mesma temperatura, e endurecimento, a -25°C (SOUZA et al., 2010).

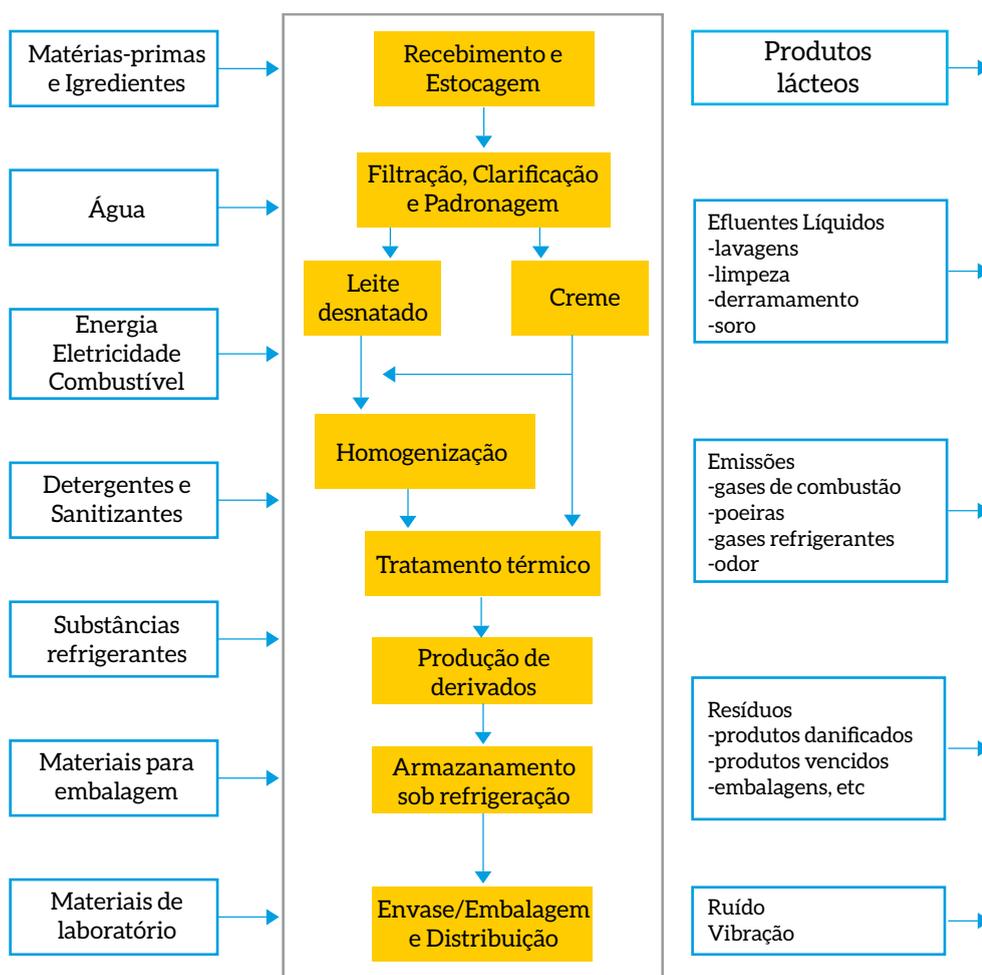


Figura 3 – Fluxograma Genérico do Processamento dos Derivados do Leite

Fonte: MARGANHA, 2006

DERIVADOS DO TRIGO

Biscoitos e bolachas: o processamento de biscoitos e bolachas tem início com a mistura dos ingredientes por um período entre 3 e 5 minutos, em misturador horizontal de alta velocidade, formando uma pasta homogênea. O fermento é, então, acrescido, seguido de nova mistura, dessa vez a uma velocidade baixa, por 5 minutos. Em seguida, são feitas a laminação e o corte dos biscoitos e bolachas, que seguem para o cozimento em fornos, com duração de 3 a 12 minutos. Os biscoitos e bolachas são, por fim, resfriados e embalados (MARCELINO; MARCELINO, 2012a).

Panificação: assim como no processo anterior, a etapa inicial da fabricação de pães consiste na mistura e homogeneização dos ingredientes, seguida da fermentação principal. A seguir, é feita a divisão da massa em partes, que serão os pães, e o boleamento. Os pedaços boleados são enviados à câmara de fermentação secundária. Realizam-se, então, a moldagem e a fermentação final, também em câmaras. A etapa seguinte consiste no cozimento da massa a uma temperatura entre 200°C e 230°C por tempo variável, de acordo com o tipo de pão. Após a saída do forno, o pão é resfriado em esteiras com ventiladores até atingir a temperatura ambiente para que possa ser cortado e embalado.

Massas alimentícias: assim como para os demais derivados do trigo, o processamento das massas alimentícias tem início com a mistura e homogeneização dos ingredientes, seguidas do amassamento. Direciona-se, então, a massa para o processo de extrusão, que empurra a massa pela rosca sem fim, o que diminui o seu diâmetro e aumenta seu comprimento, dando origem ao macarrão. A seguir, fazem-se laminação e corte, seguidos da secagem (CAVALCANTE NETO, 2012). O processo de secagem convencional utiliza temperaturas entre 40°C e 75°C por um período de 45 a 90 minutos (GUERREIRO, 2006). Após a secagem, a massa é embalada.

DERIVADOS DE FRUTAS E VEGETAIS

Doces de fruta em pasta e massa: o processamento de doces em pasta e massa começa com descascamento e corte manuais das frutas, passando para a obtenção da polpa na despoldadeira ou em processador. A polpa segue para a formulação, onde recebe basicamente açúcar, pectina, ácido e água. Em seguida, realiza-se a concentração do doce em um tacho de aço provido de misturador e raspador, onde é cozido. O doce é, então, envazado e resfriado (MACHADO; MATTA, 2006).

Extrato e concentrado de tomate: o processamento dos tomates se inicia com o cozimento dos frutos, passando posteriormente por um liquidificador. A desintegração é feita a seguir através da compressão da polpa em peneira fina ou por centrifugação. Excluídas cascas e sementes, adicionam-se 2% de sal e 1% de açúcar para a concentração da polpa. A concentração é feita em fogo regular, deixando que a polpa ferva por uma hora. O enchimento dos frascos é feito a quente e, após o fechamento, os vidros são colocados em banho-maria à tempera de ebulição. Após esse tratamento térmico, os vidros são resfriados em água corrente (FRANÇA, 2007).

DIVERSOS

Preparo de alimentos para animais: a primeira etapa do processamento de rações no Brasil, segundo Lara (2010), é a pré-moagem do milho e do farelo de soja. A seguir, é feita a moagem, em moinho de martelo, com os demais ingredientes, como aveia, cevada e trigo. A etapa seguinte é a de peletização em máquina peletizadora, ou extrusão, dependendo do tipo de ração. Faz-se, então, um tratamento térmico a vapor, cuja temperatura varia entre 75°C e 95°C, dependendo do animal ao qual a ração se destina. Posteriormente, realiza-se a secagem em câmaras de calor seco, gerado através de um sistema de contracorrente entre conjuntos de radiadores e ventiladores, a temperaturas que variam entre 90°C e 140°C. São aplicados líquidos, como óleos e gorduras, ao alimento, que passa, então, por resfriamento em duas câmaras com exaustores para a passagem do ar à temperatura ambiente. Por fim, a ração segue para o ensaque (GRUPO VB, 2014).

CHOCOLATE, CACAU E BALAS

Balas e confeitos semelhantes: existem quatro tipos de balas e confeitos, com processos produtivos um pouco distintos, a saber: balas de gelatina, balas duras, balas mastigáveis e gomas de mascar. As balas de gelatina têm sua produção iniciada com a solução da gelatina, sob agitação constante, entre 80°C e 90°C. Os açúcares são adicionados e a mistura segue para cozimento, ainda por volta de 80°C. Adicionam-se os demais ingredientes, como corantes, aromatizantes e acidulantes. O xarope final é colocado nos moldes e, por fim, é realizada a secagem para obtenção das balas (MARCELINO; MARCELINO, 2012b).

Para as balas duras, a primeira etapa é a dissolução dos açúcares sob agitação constante. A calda formada passa em seguida por cozinhadores onde o xarope, a uma temperatura entre 90°C e 100°C, passa por uma serpentina localizada em uma câmara de vapor e é cozido à temperatura de 149°C a 152°C. Ao sair da serpentina, a massa resultante passa por uma câmara de expansão para eliminação do vapor e segue para outra câmara, de vácuo, onde ocorre o resfriamento e a remoção de umidade. A seguir, vai ao processo de tempera em mesas de resfriamento com camisa com circulação de água fria (MARCELINO; MARCELINO, 2012b). Por fim, a massa é enviada ao sistema formador, composto de bastonadeira, trefila, estampadeira e esteira de resfriamento.

As balas mastigáveis também têm seu processo iniciado com a dissolução do açúcar em água, passando posteriormente por um pré-cozimento dessa calda, em cozinhadores a vácuo. Gordura e lecitina de soja são adicionadas à calda, que é encaminhada ao cozimento em um cozedor do tipo serpentina. O cozimento ocorre entre 118°C a 125°C, por 2 a 3 minutos (MARCELINO; MARCELINO, 2012b). Após o cozimento, são misturados os demais ingredientes, como aromas e corantes, e a massa é colocada em um equipamento de gancho para ser estirada até a homogeneização e incorporação de ar para alcançar o ponto desejado. Passa, então, à etapa de extrusão, de onde sai em forma de cordão para ser resfriada em túnel de resfriamento. Uma vez resfriada, a massa é cortada, modelada e embalada (MARCELINO; MARCELINO, 2012b).

Quanto a gomas de mascar, os ingredientes são adicionados a um misturador para formar a massa base para a goma. A massa pronta é fracionada e levada à extrusora, na qual toma a forma desejada e recebe o recheio. Na saída, a goma é resfriada em túneis de congelamento e embalada (MARCELINO; MARCELINO, 2012b).

Chocolates em barras ou tabletes: A primeira fase da produção de derivados do cacau se dá com o processamento do cacau. Recebidas já secas ao sol, as amêndoas de cacau são quebradas, descascadas e encaminhadas para torrefação. Após a torra, passam por moagem, dando origem a uma massa pastosa, dado o alto teor de gordura do cacau. Essa massa passa por prensagem e é dividida em dois produtos: manteiga de cacau e torta de cacau.

Para a fabricação do chocolate, a torta de cacau é misturada ao açúcar, à manteiga de cacau e ao leite até que se forme uma pasta homogênea. Essa pasta é direcionada para os cilindros de refinação para que os cristais de açúcar sejam triturados, indo a seguir à etapa de conchagem, na qual um grande misturador com aquecimento, chamado de concha, mantém a massa em movimento enquanto recebe os demais ingredientes. É então realizada a tempera, em que, por meio da troca térmica, a cristalização da manteiga de cacau ocorre. Por fim, o chocolate passa pela moldagem: para a produção dos tabletes, o chocolate é posto em moldes, passando por túnel de resfriamento (MARS, 2014).

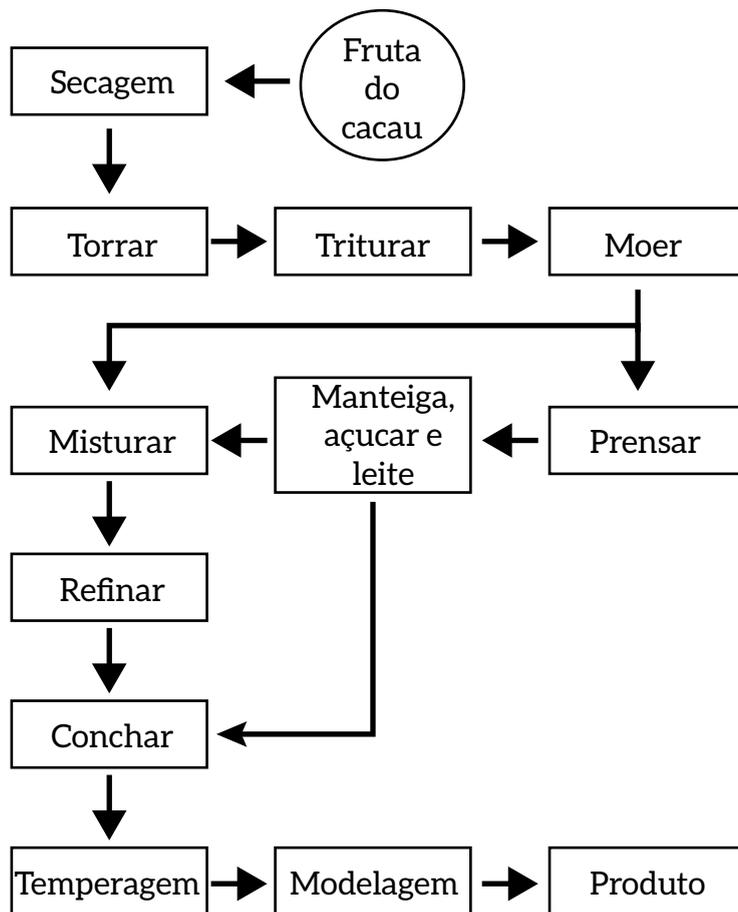


Figura 4 - Fluxograma das Etapas de Fabricação do Chocolate

Fonte: SOUZA et al., 2013

Chocolates em pó: para a fabricação do chocolate em pó, a torta de cacau, que se esfarela facilmente, é dissolvida e misturada ao açúcar.

Bombons: a produção de bombons parte do recebimento das barras de chocolate e seu derretimento em tacho encamisado a 450°C. Uma vez derretido, o chocolate é mantido à temperatura de 290°C até sua utilização. O chocolate é, então, enformado nas formas de bombons e o recheio é adicionado. Por fim, o bombom é resfriado em túnel de resfriamento de 3°C a 5°C pelo período de 5 minutos. Após resfriados, os bombons são desenformados e embalados (AZENHA et al., 2009).

CONSERVAS DE PESCADO

Peixe enlatado em conservas: na produção de pescados enlatados, após processamento preliminar que envolve descabeçamento, evisceração, descamação e lavagem, a matéria-prima segue para a salmouragem, etapa em que o pescado é imerso em salmoura. A próxima etapa é a de pré-cozimento, na qual o peixe é submetido à cocção. O peixe é, então, acondicionado manualmente em latas, e o líquido de cobertura, óleo, molho de tomate ou água, é adicionado. Realizam-se, então, exaustão das latas, que consiste na retirada do ar contido, e recravação, em que as latas são fechadas hermeticamente. Por fim, é realizada a esterilização das latas, a uma temperatura entre 115°C e 120°C, seguida do resfriamento em água corrente à temperatura entre 38°C e 40°C (LINS, 2010).

Peixe congelado: entende-se como peixe congelado o pescado submetido a processo de congelação em temperatura inferior a -25°C (LINS, 2010).

Pescado: o beneficiamento do pescado envolve as etapas de salga e secagem, que pode ser feita de forma natural, ao ar livre, ou artificial, em estufas, secadores rotativos ou ferros, a uma temperatura entre 30°C e 40°C (FAO, 2014).

BEBIDAS

Cerveja, chope e malte: a primeira fase da produção da cerveja chama-se brasagem e inclui moagem do malte e mosturação. Na etapa de mosturação, ocorrem a dissolução das substâncias do malte e a hidrólise do amido em açúcares com a ativação das enzimas. A temperatura da mosturação varia em quatro estágios para que as diferentes enzimas sejam ativadas, iniciando em 35°C e terminando a 75°C. A próxima etapa é a clarificação, em que as substâncias solubilizadas do mosto são separadas das insolúveis remanescente no bagaço do malte. A seguir, é feita a fervura do mosto juntamente com o lúpulo, a 100°C. Após a fervura, o mosto é inserido em um trocador de calor para ser resfriado entre 10°C e 25°C. Realiza-se, então, a aeração do mosto com a injeção de oxigênio, seguindo para a fermentação. Nessa etapa, o mosto adicionado de fermento é acondicionado nos fermentadores a uma temperatura entre 10°C e 15°C, onde permanece de 5 a 8 dias. A cerveja obtida segue para a maturação em tanques, onde é mantida por períodos variáveis a 0°C. Nessa fase, ocorrem a carbonatação e nova clarificação. A cerveja é, então, filtrada, faz-se o acabamento da quantidade de dióxido de carbono presente e, por fim, o engarrafamento (CARVALHO, 2007).

ESQUEMA SIMPLIFICADO PARA PRODUÇÃO DE CERVEJAS

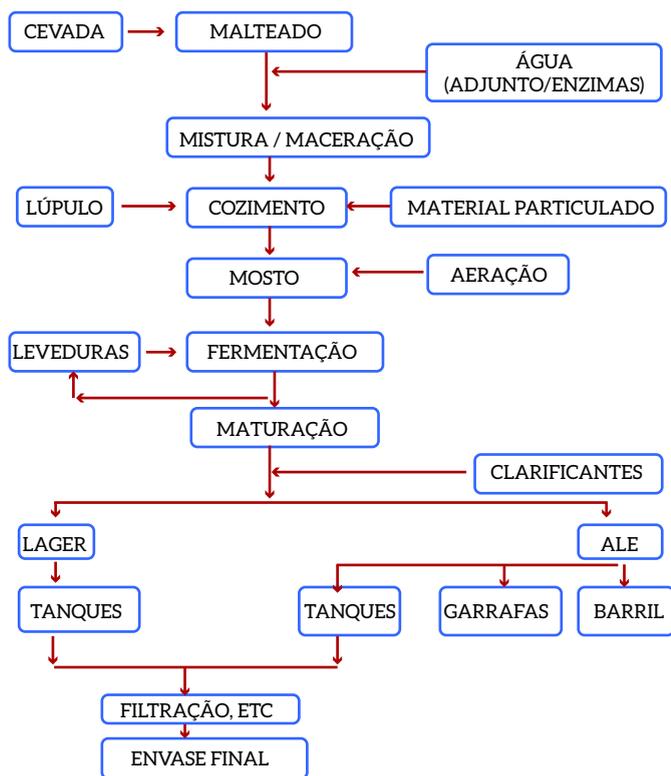


Figura 5 – Fluxograma do Processo de Produção da Cerveja

Fonte: ENGINEERINGFOODS, 2011

Refrigerantes: para a produção dos refrigerantes, parte-se do preparo do xarope simples, que consiste na dissolução do açúcar em água quente. A eles, adicionam-se conservantes, acidulantes e aromas, formando o xarope composto. Faz-se, então, a dissolução do xarope em água, seguida da carbonatação em equipamento chamado carbonatador de xarope. Por fim, o refrigerante é engarrafado (CRUZ, 2012).

Sucos e concentrado de laranja: o processamento dos sucos tem início com a seleção e lavagem das frutas, que são encaminhadas para o corte e extração do suco em despoldadeiras ou em extratores do tipo prensa. A seguir, o suco é submetido ao tratamento térmico a uma temperatura entre 75°C e 80°C para inibição enzimática. Faz-se, então, o refino do suco em centrífugas, filtros ou despoldadeiras de malha fina, seguindo para desaerador e pasteurizador. O suco pode ser pasteurizado e embalado à temperatura de pasteurização, ou ser pasteurizado já dentro da própria embalagem em tanques de imersão ou túneis de pasteurização a uma temperatura entre 115°C e 120°C por 15 a 20 minutos (MORAES, 2006).

O processamento inicial do concentrado de laranja é muito semelhante aos demais sucos. O diferencial desse produto encontra-se na etapa de concentração, realizada em evaporadores de múltiplos estágios e múltiplos efeitos. Isso significa que o sistema de concentração é composto de diversos evaporadores, passando o suco por um preaquecimento na entrada de cada um deles, e a evaporação da água contida no suco é feita em etapas, visando minimizar perdas das essências. O suco concentrado no último efeito do evaporador segue para os resfriadores numa atmosfera de baixa pressão absoluta. O líquido presente evapora instantaneamente, baixando a temperatura a 18°C. Em seguida, trocadores de calor reduzem ainda mais a temperatura do suco, a -7°C. O suco resfriado é, então, encaminhado aos tanques de armazenamento (MATOS, 2007).

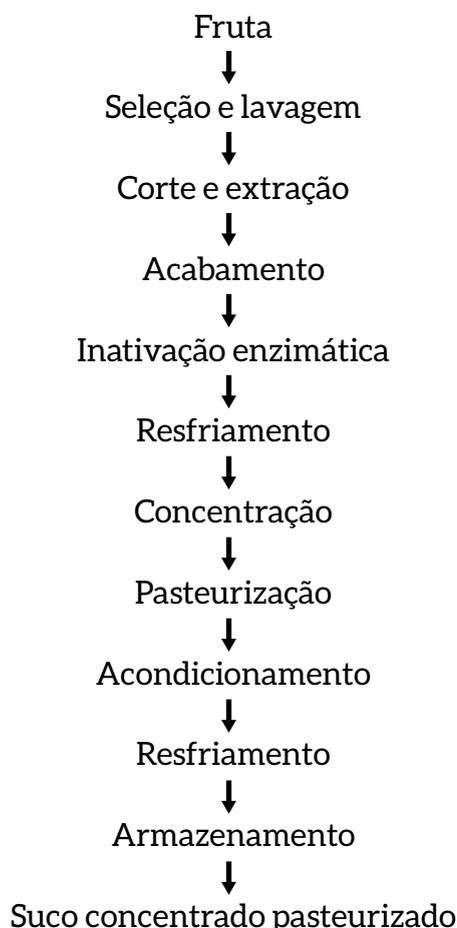


Figura 6 – Fluxograma do Processo de Produção do Suco

Fonte: MORAES, 2006

1.2 CONSUMO ENERGÉTICO E FONTES DE EMISSÃO DE GEE

O setor de alimentos e bebidas é o segmento industrial que mais consome energia no país, tendo sido responsável, em 2016, por 28% do consumo total da indústria (EPE, 2017). Consta no Balanço Energético Nacional – BEN (EPE, 2017) que, desde 2000, o bagaço de cana tem sido responsável por mais de 70% do consumo energético total do segmento, tendo o percentual sido, no ano de

2016, de 74,5%. Entretanto, de acordo com a CNI (2010), quase todo o consumo do bagaço de cana dessa indústria se dá na produção de açúcar. Da mesma forma, o bagaço de cana é responsável por quase todo o consumo energético da produção de açúcar. A atividade produtora de açúcar, porém, está excluída desta análise, uma vez que foi analisada juntamente com a produção de etanol no relatório *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de biocombustíveis* (MCTIC, 2017c).

Retirado o bagaço de cana do consumo energético do segmento, pode-se observar que o setor é expressivamente eletrointensivo, sendo a eletricidade a fonte energética mais utilizada, com participação de 38,5% do total em 2016, seguida da lenha, com 35,7% no mesmo ano. Uma questão a atentar-se é que a eletricidade se tornou o principal insumo energético, excluindo o bagaço, a partir de 2010 (Figura 7 e Tabela 2).

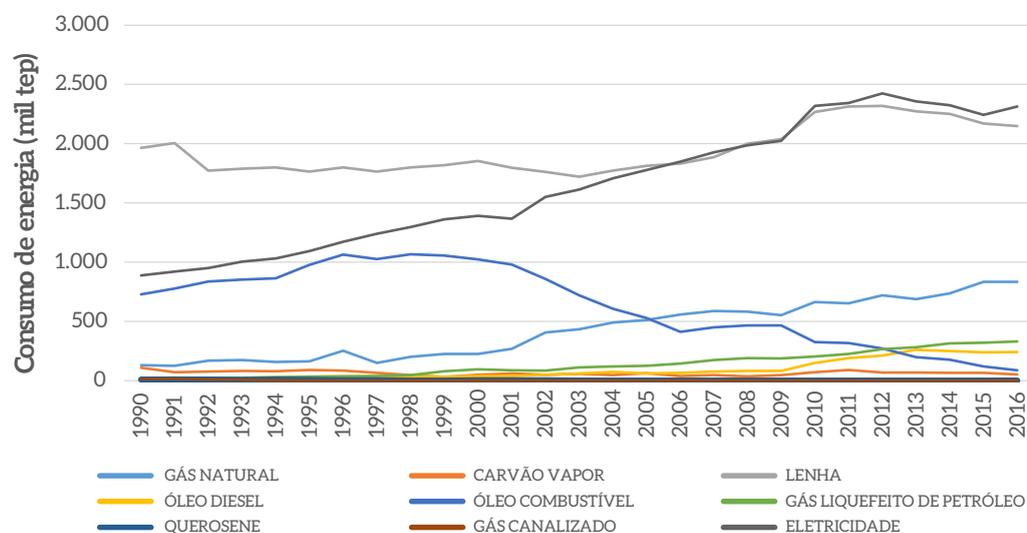


Figura 7 – Consumo Energético por Combustível de 1990 a 2016

Fonte: Elaboração própria com dados de EPE, 2017

Tabela 2 – Consumo Energético por Fontes de Energia de 2009 a 2016

Consumo por combustível (mil tep)								
Fontes de energia	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Gás natural	552	662	652	720	688	736	834	833
Carvão vapor	48	71	90	68	69	66	65	51
Lenha	2.039	2.267	2.312	2.319	2.273	2.250	2.171	2.150
Óleo diesel	82	148	191	212	260	249	239	242
Óleo combustível	467	325	318	271	198	177	119	87
GLP	187	200	225	266	282	315	320	331
Eletricidade	2.025	2.319	2.342	2.423	2.355	2.324	2.242	2.314
Total	5.400	5.994	6.131	6.279	6.126	6.117	5.990	6.008

Fonte: Elaboração própria a partir de EPE, 2017

Utilizando dados do Balanço de Energia Útil (BEU), desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia, ano-base 2004 (MME, 2005), a CNI, em seu relatório setorial de alimentos e bebidas (CNI, 2010), apresentou o consumo de energia final por combustível do setor, bem como o consumo de energia útil, sendo possível apresentar os rendimentos de conversão, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de Energia Final e Útil e Rendimento de Conversão por Combustível em 2004

Consumo de energia e rendimento de conversão			
Fontes de energia	Energia Final	Energia Útil	Rendimento
	mil tep		
Gás natural	491	374	76%
Carvão vapor	48	27	56%
Lenha	1.772	1.163	66%
Óleo diesel	74	33	45%
Óleo combustível	606	461	76%
GLP	71	31	44%
Eletricidade	1.383	1.095	79%
Outras	47	0	0%
Total	4.493	3.184	71%

Fonte: Elaborado a partir de CNI, 2010; MME, 2005

Partindo do princípio de que os rendimentos dos combustíveis tenham se mantido os mesmos, foi possível, com os dados de consumo de cada combustível do setor referentes ao ano de 2010, obtidos no Balanço Energético Nacional (MME/EPE, 2013), atualizar os consumos em energia final e útil por combustível, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 – Consumo de Energia Final e Útil e Rendimento de Conversão por Combustível em 2010

Consumo de energia e rendimento de conversão			
Fontes de energia	Energia Final	Energia Útil	Rendimento
	mil tep		
Gás natural	662	504	76%
Carvão vapor	71	40	56%
Lenha	2.267	1.488	66%
Óleo diesel	148	66	45%
Óleo combustível	325	247	76%
GLP	202	88	44%
Eletricidade	2.319	1.836	79%
Total	5.994	4.269	71%

Fonte: Elaboração própria com dados de CNI, 2010 e EPE, 2017

Como o setor é substancialmente diversificado, seus processos produtivos são bastante diversos, em sua maioria de baixa complexidade, incluindo operações realizadas a baixas temperaturas (HENRIQUES JR., 2010). Tais operações podem ser agrupadas de acordo com a natureza do seu uso final da energia. Os usos finais envolvidos, e as operações que os exigem, são os seguintes (CNI, 2010):

- Aquecimento direto: podendo ocorrer em fornos ou secadores, o aquecimento direto é exigido em operações de assar, tostar, aquecer em atmosfera controlada, secar e esterilizar;
- Calor de processo: pode ocorrer sob a forma de vapor ou água quente, sendo exigido em operações de branqueamento, cozimento, destilação, evaporação, fritura, pasteurização, fermentação, aquecimento, limpeza e esterilização;
- Refrigeração: uso final envolvido em operações de resfriamento e congelamento, resfriamento sem refrigeração direta, armazenamento com refrigeração ou congelamento e condicionamento de ar;
- Força motriz: é exigida em operações de extrusão, moagem, trituração ou pulverização, mistura e separação via peneiramento, filtração, ultrafiltração ou membranas;
- Iluminação: uso final envolvido na iluminação das instalações prediais e plantas industriais.

Assim, ainda de acordo com os dados do BEU, ano-base 2004 (MME, 2005), a CNI desenvolveu também dados referentes ao consumo de energia final e útil por uso final da energia, chegando ao rendimento de conversão também por uso final, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Consumo de Energia Final e Útil e Rendimento de Conversão por Uso Final em 2004

Consumo de energia e rendimento de conversão			
Uso final	Energia Final	Energia Útil	Rendimento
	mil tep		
Força motriz	556,0	452,4	81%
Calor de processo	1.945,0	1.598,2	82%
Aquecimento direto	1.435,0	752,1	52%
Refrigeração	485,0	362,6	75%
Iluminação	59,0	14	24%
Eletroquímica	10,0	0	0%
Outros	4,0	4,4	100%
Total	4.493,0	3.183,7	71%

Fonte: Elaboração própria a partir de CNI, 2010

Supondo-se que os rendimentos tenham se mantido os mesmos, assim como as proporções da energia utilizadas em cada uso final, foi possível atualizar, com os dados de consumo energético contidos no BEN (MME/EPE, 2013), os consumos de energia final e útil no setor, para cada uso final, para o ano de 2010.

Tabela 6 – Consumo de Energia Final e Útil e Rendimento de Conversão por Uso Final em 2010

Consumo de energia e rendimento de conversão			
Uso final	Energia Final	Energia Útil	Rendimento
	mil tep		
Força motriz	742	604	81%
Calor de processo	2.594	2.132	82%
Aquecimento direto	1914	1.003	52%
Refrigeração	647	484	75%
Iluminação	78	19	24%
Eletroquímica	13	-	0%
Outros	6	6	100%
Total	5.994	4.247	71%

Fonte: Elaboração própria com dados de CNI, 2010 e MME/EPE, 2013

Além disso, foi possível para a CNI (2010) determinar o consumo por fontes energéticas para suprir a demanda de cada uso final da energia, como apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Distribuição do Consumo dos Combustíveis Utilizados na Indústria de Alimentos e Bebidas por Uso Final em 2004

Distribuição do consumo de combustíveis por usos finais (mil tep)						
Fontes de energia	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Refrigeração	Iluminação	Outros
Gás natural	-	328,4	162,6	-	-	-
Carvão vapor	-	35,5	12,3	-	-	-
Lenha	-	965,1	807,0	-	-	-
Óleo combustível	-	394,1	190,8	21,2	-	-
Óleo diesel	70,2	1,5	2,1	-	-	-
GLP	24,2	-	47,4	-	-	-
Eletricidade	461,6	196,6	189,1	463,4	58,5	-
Outras fontes sec. petr.	-	23,6	23,6	-	-	4,0
Total	556,0	1.944,8	1.434,9	484,6	58,5	4,0

Fonte: Elaboração própria com base em CNI, 2010

Ainda supondo-se que a distribuição tenha permanecido a mesma, é possível, através do consumo energético do setor no ano de 2010 observado no BEN (MME/EPE, 2013), atualizar a Tabela 7 para o referido ano, como pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8 – Distribuição do Consumo dos Combustíveis Utilizados na Indústria de Alimentos e Bebidas por Uso Final em 2010

Distribuição do consumo de combustíveis por usos finais (mil tep)						
Fontes de energia	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Refrigeração	Iluminação	Outros
Gás natural	-	442,8	219,2	-	-	-
Carvão vapor	-	52,7	18,3	-	-	-
Lenha	-	1.234,6	1.032,4	-	-	-
Óleo diesel	140,8	3,0	4,2	-	-	-
Óleo combustível	-	211,3	102,3	11,4	-	-
GLP	68,1	-	133,9	-	-	-
Eletricidade	533,1	649,6	403,7	635,6	78,3	6,0
Total	742,0	2.594,0	1.914,0	647,0	78,3	6,0

Fonte: Elaboração própria com dados de CNI, 2010 e MME/EPE, 2013

Ajustando dados do livro *Energy in foodprocessing*, de Paul Sigh (1986), e do livro *Energy analysis of 108 industrial processes*, de Brown et al. (1985), para a indústria brasileira da alimentação, a CNI (2010) chegou a valores para os consumos específicos de energia de cada produto no âmbito da sua desagregação, em cada um dos usos finais da energia incluídos nos seus processos.

Tabela 9 – Consumo Energético Específico (MJ/t) por Produto e por Uso Final da Energia

Cadeias Produtivas e Produtos	Força motriz	Calor de processo (vapor)	Calor de processo (água quente)	Aquecimento direto (fornos)	Aquecimento direto (secadores)	Refrigeração	Iluminação	Total
Derivados de carne								
Carne bovina	165,0	968,0	303,0	136,0	-	291,0	93,0	1.956,0
Carne suína	186,0	1.067,0	303,0	213,0	-	327,0	105,0	2.202,0
Frango	428,0	1.746,0	229,0	263,0	-	414,0	126,0	3.205,0
Abate e preparo de aves	761,0	1.746,0	229,0	263,0	-	409,0	150,0	3.558,0
Subtotal	1.540,0	5.527,0	1.064,0	875,0	-	1.441,0	474,0	10.921,0
Beneficiamento de café, chá e cereais								
Café torrado e moído	236,0	-	-	2.477,0	-	-	57,0	2.769,0
Café solúvel	1.098,0	4.980,0	5.661,0	-	14.072,0	-	263,0	26.074,0
Farinha de trigo (moagem)	124,0	-	14,0	-	276,0	-	30,0	444,0
Arroz beneficiado	121,0	205,0	-	-	58,0	-	29,0	413,0
Subtotal	1.579,0	5.185,0	5.675,0	2.477,0	14.406,0	-	379,0	29.700,0
Óleos e gorduras								
Refino de óleo de soja	391,0	2.870,0	339,0	-	935,0	-	94,0	4.629,0
Refino de óleos vegetais	333,0	2.924,0	189,0	-	322,0	-	80,0	3.847,0
Margarina	84,0	322,0	12,0	-	-	22,0	15,0	454,0
Subtotal	808,0	6.116,0	540,0	-	1.257,0	22,0	189,0	8.930,0
Derivados de leite								
Leite pasteurizado	166,2	98,8	162,3	-	-	44,2	29,4	500,9
Leite longa vida UHT	166,2	134,5	200,5	-	-	44,2	29,4	574,8
Leite em pó	506,8	-	470,1	-	5.574,9	-	121,6	9.324,6
Leite flavorizado	207,8	134,5	180,5	-	-	55,2	36,7	614,7
Leite condensado	108,5	964,7	-	-	-	-	58,8	1.132,0
Creμες de leite	624,7	347,6	466,4	-	-	-	149,9	1.588,6
Iogurtes	210,7	136,4	183,0	-	-	56,0	37,2	623,3
Queijos	207,8	134,5	180,5	-	-	55,2	36,7	614,7
Manteiga	93,2	964,7	-	-	-	24,8	16,5	1.099,2
Requeijão	640,6	346,9	466,4	-	-	-	153,7	1.607,6
Bebidas lácteas	210,7	136,4	183,0	-	-	56,0	37,2	623,3
Sorvetes	n.d.	262,9	1.315,7	-	-	436,3	289,9	3.946,3
Subtotal	3.143,2	3.661,9	3.808,4	-	5.574,9	771,9	997,0	22.250,0
Derivados do trigo								
Biscoitos e bolachas	123,2	-	165,1	505,2	-	-	29,6	823,1
Panificação	157,7	298,4	-	505,2	-	-	37,8	999,1
Massas alimentícias	253,7	366,0	-	940,1	-	67,4	44,8	1.672,0
Subtotal	534,6	664,4	165,1	1.950,5	-	67,4	112,2	3.494,2
Derivados de frutas e vegetais								
Doces de frutas em pasta e massa	689,2	-	176,0	-	-	-	165,4	2.790,2
Extratos e concentrados de tomate	81,1	993,9	631,4	233,9	-	-	19,5	1.959,8
Subtotal	770,3	993,9	807,4	233,9	-	-	184,9	4.750,0
Diversos								
Preparo de alimentos para animais	272,7	269,0	47,8	415,3	-	-	65,7	1.071,5
Subtotal	272,7	269,0	47,8	415,3	-	-	65,7	1.071,5
Chocolate, cacau e balas								
Balas e confeitos semelhantes	688,4	935,6	163,4	-	-	-	165,2	1.952,6
Chocolate em barras ou tabletes	226,3	467,8	33,7	350,8	-	-	54,3	1.132,9
Chocolates em pó	367,7	701,6	39,2	350,8	-	-	88,2	1.547,5
Bombons	462,1	-	-	-	233,9	122,8	81,6	2.654,5
Subtotal	1.744,5	2.105,0	236,3	701,6	233,9	122,8	389,3	7.287,5
Conservas de pescado								
Peixe enlatado em conservas	241,2	-	-	125,2	-	-	57,9	6.118,8
Peixes congelados	610,2	878,3	204,6	-	-	162,2	107,8	1.963,1
Pescado	335,3	-	204,6	-	-	89,1	59,2	1.442,3
Subtotal	1.186,7	878,3	409,2	125,2	-	251,3	224,9	9.524,2
Bebidas								
Cerveja, chope e malte	457,9	448,7	542,5	1.299,4	-	-	109,9	2.858,4
Refrigerantes	390,5	-	672,2	-	467,5	-	248,9	1.779,1
Suco e concentrado de laranja	1.075,0	-	280,5	2.105,0	-	-	257,9	4.770,6
Subtotal	1.923,4	448,7	1.495,2	3.404,4	467,5	-	616,7	9.408,1
Total	13.502,4	25.849,2	14.248,4	10.182,9	21.939,3	2.676,4	3.632,7	107.336,5

Fonte: Elaboração própria a partir de CNI, 2010

Por fim, a CNI (2010) realizou uma agregação do consumo energético específico de cada cadeia produtiva entre consumos específicos de eletricidade e calor, incluídos todos os usos finais da energia.

Tabela 10 – Consumos Específicos de Eletricidade e Calor por Cadeia Produtiva do Segmento de Alimentos e Bebidas

Cadeia Produtiva	Consumo específico (MJ/t)	
	Eletricidade	Calor
Bebidas (cerveja, cachaça, refrigerantes, sucos etc.)	379,3	830,6
Carnes (abate)	665,6	615,1
Carne (industrialização)	754,0	3.950,0
Soja (esmagamento)	161,1	532,0
Óleo vegetal (refino)	415,0	3.435,0
Leite (pasteurizado e UHT)	377,8	565,4
Leite (industrialização)	698,7	1.426,3
Trigo (farinha e farelo)	331,6	667,7
Arroz (branco e parboilizado)	298,0	395,6
Milho (moagem úmida, a seco e pequenos moinhos)	318,6	793,1
Café (torrado/moído e solúvel)	328,5	4.499,8
Rações e alimentos para animais	301,5	260,1
Pescados	335,0	1.958,0
Cacau, chocolate, balas e doces	436,0	1.158,0
Laranja (suco FCOJ)	344,0	581,2

Fonte: Elaboração própria a partir de CNI, 2010

Observando-se os dados da Tabela 10, pode-se constatar que as cadeias mais eletrointensivas são a industrialização de carnes, do leite, o abate de carnes e o refino do óleo vegetal. Com relação à energia sob a forma de calor, as cadeias mais intensivas são, em primeiro lugar, o café, a industrialização de carnes, o refino do óleo vegetal e os pescados.

A desagregação do setor realizada pela CNI (2010) em cadeias produtivas se deu de acordo com a sua homogeneidade no tocante aos produtos, mas em especial no que se refere aos processos produtivos, operações envolvidas e consumo energético. Produtos cujos processos produtivos exigem operações e, por sua vez, usos finais da energia semelhantes foram agrupados nas cadeias produtivas apresentadas. A partir dos consumos específicos obtidos por produto de cada cadeia e por uso final, pode-se traçar um perfil para cada cadeia produtiva, com relação aos usos da energia exigidos em seus processos:

- Subsegmento de derivados de carne: suas operações exigem todos os usos finais, exceto aquecimento direto, sendo mais intensivo em calor de processos (vapor). É um subsegmento bastante energointensivo do setor de alimentos e bebidas, tanto no que se refere à energia elétrica quanto no que se refere à energia sob a forma de calor;
- Subsegmento de beneficiamento de café, chá e cereais: as operações exigem todos os usos finais, exceto refrigeração. O aquecimento direto (fornos) é utilizado apenas na produção de café torrado

e moído, representando, porém, 91% do consumo total de energia desse produto específico. É um segmento muito intensivo em energia sob a forma de calor, em especial por causa do café solúvel. Esse produto apresenta o maior consumo específico do setor, 26.074 MJ/t, sendo esse número quase três vezes o segundo maior consumo específico dentre os produtos dessa indústria;

- Subsegmento de óleos e gorduras: não exige energia para aquecimento direto (fornos), e o uso final para refrigeração é apenas residual, ocorrendo somente na produção de margarina. É especialmente intensivo em calor de processo (vapor), sobretudo para o refino de óleos. Esse produto é bastante energointensivo, exigindo 4.629 MJ/t;
- Subsegmento de derivados do leite: não exige aquecimento direto (fornos), e o aquecimento direto (secadores) é utilizado apenas na produção de leite em pó, representando, porém, a totalidade do seu consumo energético, de forma que esse uso final se torna significativo. O subsegmento é intensivo em operações cujos usos finais são força motriz e calor de processos (vapor). O leite industrializado está entre as cadeias mais energointensivas do setor, sendo o leite em pó o produto com o segundo maior consumo específico dentre os alimentos e bebidas: 9.324,6 MJ/t;
- Subsegmento de derivados do trigo: não tem operações com aquecimento direto (secadores) e exige energia para refrigeração apenas na produção de massas alimentícias e calor de processos (água quente) apenas na produção de biscoitos e bolachas. É especialmente intensivo em energia para os usos finais aquecimento direto (fornos) e força motriz. Não é, porém, um subsegmento particularmente intensivo em energia dentre as cadeias produtivas do setor. Seus consumos específicos são baixos se comparados com os demais produtos;
- Subsegmento de derivados de frutas e vegetais: não utiliza energia para aquecimento direto (secadores) e refrigeração, sendo intensivo nos usos de força motriz e calor de processo sob as duas formas. Seus produtos apresentam consumos específicos moderados, próximos à média do setor;
- Preparo de alimentos para animais (subsegmento “outros”): tampouco usa energia para aquecimento direto (secadores) e refrigeração, utilizando em maior quantidade para aquecimento direto em fornos. Está entre os subsegmentos que menos consomem energia em seus processos produtivos, sendo o consumo específico das rações bastante baixo em comparação com os demais: 1.071,5 MJ/t;
- Subsegmento de chocolate, cacau e balas: utiliza energia para aquecimento direto em secadores e refrigeração apenas na produção de bombons. Seu consumo mais intenso está nas operações de força motriz e calor de processos (vapor). Apesar de apresentar alto consumo específico total no que se refere ao calor, seus produtos não figuram entre os maiores consumidores de energia no setor;
- Subsegmento de conservas de pescado: não realiza aquecimento direto em secadores, utiliza aquecimento direto em fornos apenas para peixe enlatado em conservas e seu maior consumo está nas operações de força motriz. É um dos subsegmentos mais intensivos em calor, e o produto pescado enlatado apresenta o terceiro maior consumo específico de todo o setor: 6.118,8 MJ/t.
- Segmento de bebidas: não realiza operações de refrigeração, sendo especialmente intensivo em operações de força motriz, calor de processo (água quente) e aquecimento direto em fornos. É um subsegmento mais intensivo em energia sob a forma de calor, sendo o concentrado de laranja um produto que demanda altas quantidades de energia para ser produzido. Seu consumo específico é de 4.470 MJ/t, o quarto maior do setor.

A partir dos consumos específicos obtidos pela CNI (2010) e dos dados de produção física de cada produto principal obtidos na PIA Produto para o ano de 2010 (IBGE, 2014a), foi possível calcular o consumo energético de cada uma dessas cadeias produtivas, no total e no que se refere a cada uso final da energia, no ano de 2010. Os resultados podem ser observados na Tabela 11.

Tabela 11 – Consumo Energético Total e por Uso Final, em TJ, das Principais Cadeias Produtivas do Setor em 2010

Cadeias produtivas e produtos	Força motriz	Calor de processo (vapor)	Calor de processo (água quente)	Aquecimento direto (fornos)	Aquecimento direto (secadores)	Refrigeração	Iluminação	Total
Derivados de carne								
Carne bovina	165,0	968,0	303,0	136,0	-	291,0	93,0	1.956,0
Carne suína	186,0	1.067,0	303,0	213,0	-	327,0	105,0	2.202,0
Frango	428,0	1.746,0	229,0	263,0	-	414,0	126,0	3.205,0
Abate e preparo de aves	761,0	1.746,0	229,0	263,0	-	409,0	150,0	3.558,0
Subtotal	1.540,0	5.527,0	1.064,0	875,0	-	1.441,0	474,0	10.921,0
Beneficiamento de café, chá e cereais								
Café torrado e moído	236,0	-	-	2.477,0	-	-	57,0	2.769,0
Café solúvel	1.098,0	4.980,0	5.661,0	-	14.072,0	-	263,0	26.074,0
Farinha de trigo (moagem)	124,0	-	14,0	-	276,0	-	30,0	444,0
Arroz beneficiado	121,0	205,0	-	-	58,0	-	29,0	413,0
Subtotal	1.579,0	5.185,0	5.675,0	2.477,0	14.406,0	-	379,0	29.700,0
Óleos e gorduras								
Refino de óleo de soja	391,0	2.870,0	339,0	-	935,0	-	94,0	4.629,0
Refino de óleos vegetais	333,0	2.924,0	189,0	-	322,0	-	80,0	3.847,0
Margarina	84,0	322,0	12,0	-	-	22,0	15,0	454,0
Subtotal	808,0	6.116,0	540,0	-	1.257,0	22,0	189,0	8.930,0
Derivados de Leite								
Leite pasteurizado	166,2	98,8	162,3	-	-	44,2	29,4	500,9
Leite longa vida UHT	166,2	134,5	200,5	-	-	44,2	29,4	574,8
Leite em pó	506,8	-	470,1	-	5.574,9	-	121,6	9.324,6
Leite flavorizado	207,8	134,5	180,5	-	-	55,2	36,7	614,7
Leite condensado	108,5	964,7	-	-	-	-	58,8	1.132,0
Crems de leite	624,7	347,6	466,4	-	-	-	149,9	1.588,6
Iogurtes	210,7	136,4	183,0	-	-	56,0	37,2	623,3
Queijos	207,8	134,5	180,5	-	-	55,2	36,7	614,7
Manteiga	93,2	964,7	-	-	-	24,8	16,5	1.099,2
Requeijão	640,6	346,9	466,4	-	-	-	153,7	1.607,6
Bebidas lácteas	210,7	136,4	183,0	-	-	56,0	37,2	623,3
Sorvetes	-	262,9	1.315,7	-	-	436,3	289,9	3.946,3
Subtotal	3.143,2	3.661,9	3.808,4	-	5.574,9	771,9	997,0	22.250,0
Derivados do trigo								
Biscoitos e bolachas	123,2	-	165,1	505,2	-	-	29,6	823,1
Panificação	157,7	298,4	-	505,2	-	-	37,8	999,1
Massas alimentícias	253,7	366,0	-	940,1	-	67,4	44,8	1.672,0
Subtotal	534,6	664,4	165,1	1.950,5	-	67,4	112,2	3.494,2
Derivados de frutas e vegetais								
Doces de frutas em pasta e massa	689,2	-	176,0	-	-	-	165,4	2.790,2
Extratos e concentrados de tomate	81,1	993,9	631,4	233,9	-	-	19,5	1.959,8
Subtotal	770,3	993,9	807,4	233,9	-	-	184,9	4.750,0
Diversos								
Preparo de alimentos para animais	272,7	269,0	47,8	415,3	-	-	65,7	1.071,5
Subtotal	272,7	269,0	47,8	415,3	-	-	65,7	1.071,5
Chocolate, cacau e balas								
Balas e confeitos semelhantes	688,4	935,6	163,4	-	-	-	165,2	1.952,6
Chocolate em barras ou tabletes	226,3	467,8	33,7	350,8	-	-	54,3	1.132,9
Chocolates em pó	367,7	701,6	39,2	350,8	-	-	88,2	1.547,5
Bombons	462,1	-	-	-	233,9	122,8	81,6	2.654,5
Subtotal	1.744,5	2.105,0	236,3	701,6	233,9	122,8	389,3	7.287,5
Conservas de pescado								
Peixe enlatado em conservas	241,2	-	-	125,2	-	-	57,9	6.118,8
Peixes congelados	610,2	878,3	204,6	-	-	162,2	107,8	1.963,1
Pescado	335,3	-	204,6	-	-	89,1	59,2	1.442,3
Subtotal	1.186,7	878,3	409,2	125,2	-	251,3	224,9	9.524,2
Bebidas								
Cerveja, chope e malte	457,9	448,7	542,5	1.299,4	-	-	109,9	2.858,4
Refrigerantes	390,5	-	672,2	-	467,5	-	248,9	1.779,1
Suco e concentrado de laranja	1.075,0	-	280,5	2.105,0	-	-	257,9	4.770,6
Subtotal	1.923,4	448,7	1.495,2	3.404,4	467,5	-	616,7	9.408,1
Total	13.502,4	25.849,2	14.248,4	10.182,9	21.939,3	2.676,4	3.632,7	107.336,5

Fonte: Elaboração própria a partir de CNI, 2010 e IBGE, 2014a

A partir do cálculo da Tabela 11, é possível ter uma visão mais geral da participação de cada cadeia produtiva no consumo energético total do setor, conforme a Figura 8.

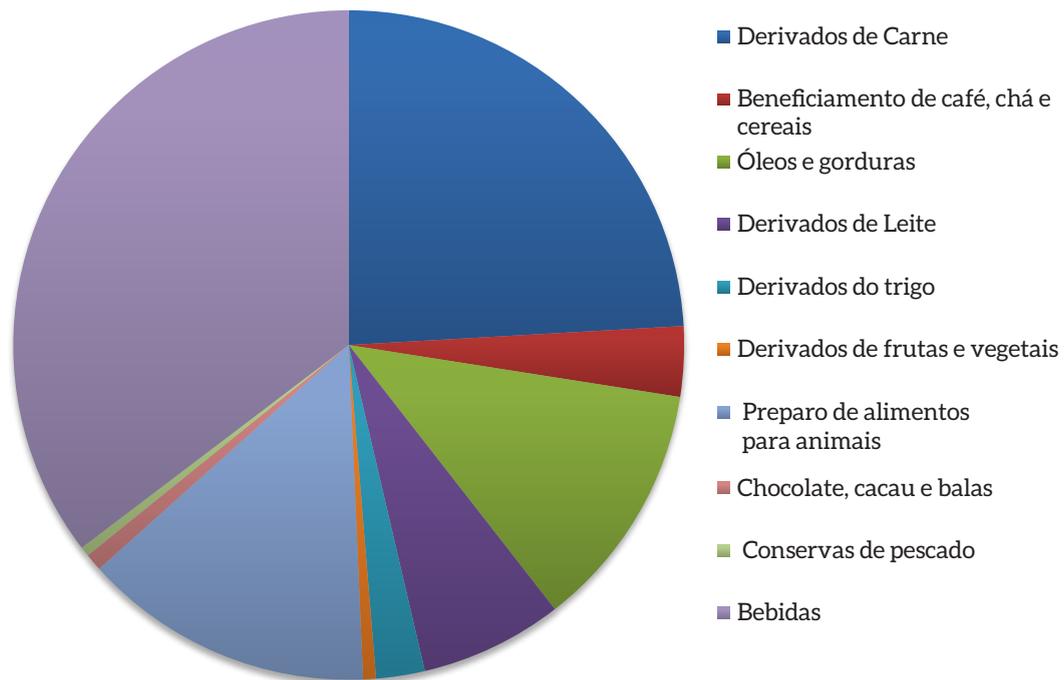
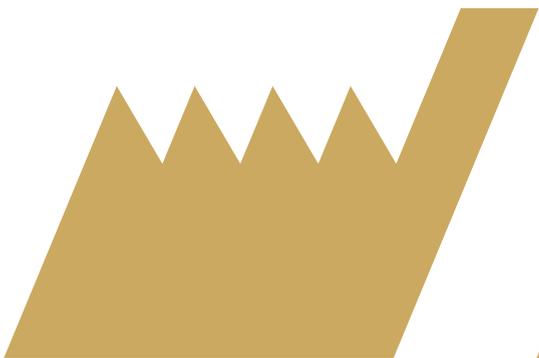


Figura 8 – Distribuição do Consumo Energético, em GJ, nas Principais Cadeias Produtivas do Setor em 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de CNI, 2010 e IBGE, 2014a

As emissões de GEE do setor estão majoritariamente ligadas ao seu consumo energético, emitindo dióxido de carbono (CO_2) e, em menor proporção, monóxido de carbono (CO) e óxido nitroso (N_2O) (MCTI, 2010; MCTIC, 2016). Suas emissões de processos são emissões de compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC), provenientes da utilização de cereais e frutas nos processos de fermentação de bebidas alcoólicas, bem como da produção de pães, rações animais, margarinas e outras gorduras sólidas, carnes, peixes e aves, e bolos, biscoitos e cereais matinais, e metano (CH_4) no tratamento de seus efluentes (MCTI, 2006; 2010; MCTIC, 2016).

A stylized line graph icon in a gold color, featuring four peaks of varying heights followed by a sharp upward slope.

Melhores tecnologias disponíveis aplicáveis aos processos produtivos do setor

Capítulo

2

2 MELHORES TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS APLICÁVEIS AOS PROCESSOS PRODUTIVOS DO SETOR

Dada a heterogeneidade do setor, as melhores tecnologias disponíveis (MTD) que podem ser adotadas para o abatimento de emissões são aplicáveis a diferentes processos produtivos. Faz-se, portanto, necessário um agrupamento dessas melhores práticas em cadeias produtivas a que se aplicam, ou em operações, que de forma transversal aplicam-se a muitos processos produtivos.

Esta etapa consiste em uma revisão bibliográfica de estudos que apresentam as melhores práticas internacionais no que concerne ao consumo energético e às emissões de GEE no segmento industrial de alimentos e bebidas, adotando uma abordagem que permita comparar as medidas aplicáveis ao setor com os demais setores industriais. Para tal, serão apresentadas as melhores práticas para as diferentes operações realizadas nos inúmeros processos produtivos distintos que o setor apresenta (CIRAS, 2005; IPCC, 2007; IPPC; 2006; 2009).

De acordo com o IPCC (2007), as principais oportunidades de mitigação de GEE na indústria mundial de alimentos e bebidas incluem tecnologias e processos para melhoria da gestão interna e para melhoria dos sistemas transversais, como caldeiras, distribuição do vapor e da água quente, bombas, compressores e ventiladores. Além disso, envolvem tecnologias específicas e melhoria do controle dos processos, uma integração mais eficiente entre eles, cogeração para produção de eletricidade e digestão anaeróbia dos resíduos para produzir biogás para geração de eletricidade ou vapor de processos.

Dessa forma, este capítulo discutirá, brevemente, as MTD de eficiência energética aplicáveis ao setor de alimentos e bebidas. Sempre que possível, serão apresentados parâmetros de potencial de economia de energia, redução de emissões de GEE, assim como custos de investimento e custos de operação e manutenção (O&M) das tecnologias.

2.1 SISTEMAS DE VAPOR

O vapor é uma das formas possíveis de transportar energia nos sistemas de aquecimento à base de fluidos. No tocante ao setor de alimentos e bebidas, o aquecimento pode ser feito em sistemas com vapor ou água quente. Nos processos produtivos do setor, o vapor é utilizado em operações de cozimento, secagem e esterilização (CIRAS, 2005). Os sistemas de vapor podem ser divididos em quatro componentes: a planta de geração, que corresponde a caldeira, sistema de distribuição,

usuário final e sistema de recuperação do condensado. Suas vantagens envolvem maior capacidade de aquecimento e maior coeficiente de transferência de calor, além de maior eficiência energética. A diferença de capacidade de transferência de calor entre a água e o vapor é notável: 4.000 W/m²C para a água contra 10.000 W/m²C para o vapor (IPPC, 2009). De acordo com o IPPC (2009), a substituição de outros fluidos de aquecimento por vapor gera economia de energia de até 35%, resultando, em média, em economia de 7%.

Quanto às melhores práticas disponíveis para a performance dos sistemas de vapor, CIRAS (2005) destaca que envolvem oferta do vapor, com correção do tamanho das caldeiras e operação a taxas de combustão de alta eficiência, otimização do retorno do condensado, diminuição das perdas do vapor de expansão do retorno do condensado, isolamento da tubulação não utilizada, melhorias nos purgadores de vapor e reparação dos vazamentos de vapor.

Segundo CIRAS (2005), o tamanho da caldeira a ser utilizada deve ser cautelosamente avaliado pelas indústrias, identificando a eficiência de suas caldeiras e determinando a que taxa de uso em face de sua capacidade a eficiência é ótima. Caldeiras com capacidade muito acima da demanda de vapor pela planta tornam-se ociosas e sua eficiência é reduzida. Isso se dá porque algumas perdas de calor são fixas, independentemente da capacidade da caldeira.

A otimização do retorno do condensado refere-se ao fato de que todo condensado que não retorna à caldeira deve ser substituído por água fria tratada, desperdiçando em torno de 20% da energia utilizada para a geração do vapor do qual o condensado deriva (IPPC, 2006). De acordo com CIRAS (2005), 18% do combustível utilizado para aquecer essa água podem ser economizados via otimização do retorno do condensado, que é aplicável a caldeiras a óleo e a gás natural.

Quanto ao vapor de expansão, quando o condensado é descarregado dos purgadores e flui para a tubulação de retorno, forma-se o vapor de expansão. É importante evitar a perda desse vapor, capturando-o, uma vez que, de acordo com o IPPC (2006), o vapor de expansão contém cerca de 40% da energia do condensado pressurizado original. A melhoria no isolamento de ramais de tubulações não utilizadas, tanto em caldeiras a gás quanto em caldeiras a óleo, pode gerar economia de energia e de manutenção (IPPC, 2006).

Quanto aos purgadores, as melhorias se dão no sentido de realizar manutenção periódica, por meio da inspeção e documentação de forma rotineira e realização de reparos para eliminar vazamentos, uma vez que apenas alguns pontos de vazamento são suficientes para um significativo aumento dos custos com energia (IPPC, 2006). Por fim, a respeito da minimização da descarga das caldeiras, a descarga é utilizada para limitar a acumulação de sais, mantendo-os dentro dos limites e parâmetros estabelecidos. Porém, essa operação desperdiça água já aquecida, de forma que é válido manter os valores dos sais o mais próximo possível dos limites técnicos aceitáveis. Isso pode ser feito mediante a instalação de um sistema automatizado que consiste em uma sonda de condutância na caldeira e uma válvula reguladora de descargas. Segundo o IPPC (2006), essa redução das descargas pode resultar em economia de combustível entre 1,9% e 2,5%, dependendo da pressão em que o vapor se encontra.

2.2 SISTEMAS DE CALOR

De acordo com IPPC (2009), os trocadores de calor são dispositivos que transferem energia de um fluido para outro através de uma superfície sólida e são utilizados para aquecer ou resfriar processos ou sistemas, por convecção ou condução. No setor de alimentos e bebidas, os trocadores de calor são utilizados em operações de secagem, aquecimento de processo, refrigeração e condicionamento do ar (CIRAS, 2005).

Segundo o relatório de referência sobre as MTD do setor de alimentos e bebidas do IPPC (2006), dentre as tecnologias que utilizam trocadores de calor, o que pode ser considerado MTD para todo o setor refere-se somente à refrigeração, mediante instalação de um trocador de calor em placa para pré-resfriar a água que retorna com amônia previamente ao resfriamento final. Isso ocorre em um tanque de acumulação de água gelada com um evaporador de serpentina. Essa medida reduz o consumo energético do resfriamento da água utilizada, uma vez que a temperatura de evaporação da amônia é mais alta em trocadores de placa do que em evaporadores de serpentina: $-1,5^{\circ}\text{C}$ contra $-11,5^{\circ}\text{C}$. Segundo o relatório, a instalação desse sistema de pré-refrigeração pode reduzir em até 20% o consumo de energia elétrica da produção de laticínios com custo associado de aproximadamente € 50.000. Esse valor inclui o refrigerador em placa, bombas, válvulas, reguladores, tubulação e instalação (IPPC, 2006).

2.3 MOTORES ELÉTRICOS

Os motores elétricos são amplamente utilizados para operar subsistemas mecânicos nos processos industriais. No setor de alimentos e bebidas, são utilizados em operações de mistura, separação, refrigeração e para o condicionamento do ar. De acordo com o IPPC (2006), as melhores práticas, no que se refere a motores elétricos, envolvem, primeiramente, a redução das cargas sobre motores, reduzindo de 1% a 5% o consumo energético das plantas. Isso pode ser feito via manutenção, verificando-se os seguintes itens (IPPC, 2006):

- 1) Se a máquina que o motor está acionando é eficiente;
- 2) Se o sistema está executando um trabalho útil e necessário;
- 3) Se a transmissão do motor está operando de forma eficiente;
- 4) Se os programas de manutenção estão adequados;
- 5) Se as perdas por conta de tubulação, dutos e isolamento estão sendo minimizadas;
- 6) Se o sistema de controle é eficiente.

Em seguida, dentre as melhores práticas para o setor, está a minimização das perdas nos motores, que pode ser alcançada das seguintes maneiras (IPPC, 2006; 2009):

- 1) Especificar motores de maior eficiência quando viável, podendo reduzir o consumo energético de 2% a 8%;
- 2) Assegurar que o reparo adequado é realizado quando um motor falha para minimizar perdas de energia, reduzindo o consumo energético de 0,5% a 2%;
- 3) Evitar o uso de motores maiores que o necessário, podendo reduzir a energia consumida entre 1% e 3%;

- 4) Conferir se desequilíbrios de tensão, ofertas de tensão altas ou baixas demais, distorção harmônica ou um fator de potência fraco não está causando perdas excessivas. Isso pode gerar economia de energia de 0,5% a 3%.

Essas medidas são capazes de reduzir o consumo energético praticamente sem custos, de acordo com o IPPC (2006). A terceira MTD, no que se refere aos motores elétricos, é a instalação de conversores de frequência nos motores. Tal medida consiste no controle da velocidade dos motores de bomba através dos conversores de frequência. Isso assegura que a velocidade do impulsor esteja exatamente adaptada à saída adequada da bomba, assim como seu consumo de energia e tratamento do líquido. A redução do consumo de energia vai depender da capacidade e do número de bombas e motores.

De maneira geral, redução de 10% das saídas das bombas leva a redução de 28% em seu consumo energético. Estima-se que um conversor de frequência de 5,5 kW custe por volta de € 600 (IPPC, 2006). Esses equipamentos são aplicáveis a motores trifásicos padrão e estão disponíveis para controles de velocidade manuais e automáticos. Podem ser implementados a instalações existentes ou novas, para bombas, equipamentos de ventilação e sistemas de transporte. Não devem, entretanto, exceder 60% do uso total de energia da planta, pois podem gerar um efeito adverso sobre o abastecimento de eletricidade, levando a problemas técnicos (IPPC, 2006). Um exemplo de custos dessa medida é uma indústria de laticínios na Dinamarca, que, para equipar 203 conversores de frequência, investiu € 311.000. As economias anuais estimadas são de € 90.000, ou 1.325.000 kWh. A potência total dos motores era de 1.216 kW.

2.4 MTD DE APLICABILIDADE TRANSVERSAL

Além dos documentos analisados, o Australian Industrial Group e a Environmental Protection Authority, do estado de Victoria, desenvolveram uma série de fichas técnicas para promover maior economia de energia em setores industriais na Austrália, indicando as melhores práticas a serem adotadas, bem como suas faixas de custos, potenciais de economia de energia e uma faixa de tempo de retorno dos investimentos requeridos (AIG/EPA, 2014a). As medidas referem-se a mudanças nos processos, ações de manutenção e melhorias nas plantas e nos equipamentos dessas indústrias.

Quanto ao setor de alimentos e bebidas, foram desenvolvidas fichas técnicas para os subsegmentos de derivados do leite (AIG/EPA, 2014a), frutas e vegetais processados (AIG/EPA, 2014b), bebidas (AIG/EPA, 2014c) e abatedouros e processamento de carnes (AIG/EPA, 2014d). Por sua vez, Wang (2009) avaliou o impacto em termos de economia de energia decorrente da adoção de medidas de eficiência energética no setor.

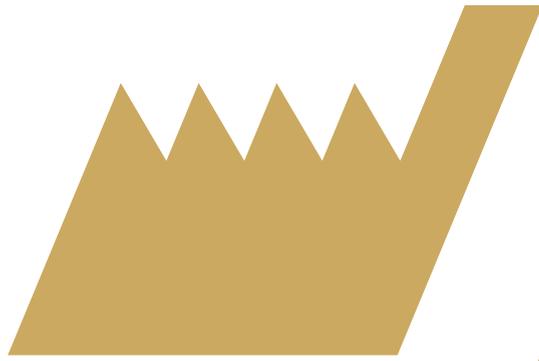
Puderam ser identificadas medidas comuns aplicáveis a dois ou mais subsegmentos. A revisão das configurações de temperatura em ambientes refrigerados é comum a três dos quatro subsegmentos, não estando presente apenas no segmento de carnes. Seus custos são de até US\$ 10.000, sua economia de energia está na faixa entre 5% e 10% e o tempo de retorno do investimento é de até 1 ano.

Outra medida identificada é a instalação de portas de correr de fechamento rápido, que está em uma faixa um pouco mais cara, com custos entre US\$ 10.000 e US\$ 50.000, economia de energia inferior a 5% e prazo de retorno de 2 a 5 anos.

Em termos de manutenção, identificam-se para os segmentos de bebidas e carnes manutenção preventiva e verificação de vazamentos, com custos de até US\$ 10.000, economia de energia de até 5%, apresentando, porém, prazos de retorno distintos entre os dois segmentos. Para o segmento de bebidas, esse prazo é inferior a 1 ano e, no segmento de carnes, entre 2 e 5 anos. Além disso, outros pontos são aplicáveis a mais de um subsegmento, a saber: instalação de aquecedores solares para o aquecimento da água, que apresenta, porém, custos e potenciais de economia de energia muito distintos entre os subsegmentos.

O isolamento de válvulas, tubos e unidades de armazenamento é aplicável a todos os subsegmentos, com custos mais frequentemente na faixa entre US\$ 10.000 e US\$ 50.000, potencial de economia de energia superior a 10% e período de retorno inferior a 1 ano.

Finalmente, a recuperação de calor proveniente dos gases de combustão, tanto em caldeiras a óleo quanto em caldeiras a gás natural, é aplicável em praticamente todos os segmentos do setor, podendo reduzir o consumo de energia entre 5% e 10%. Os custos de capital e de operação e manutenção (O&M) são de 1.880 e 18,8 US\$/TJ, e o tempo de retorno do investimento situa-se entre 1 e 3 anos (WANG, 2009).



Cenários de referência, baixo carbono e baixo carbono com inovação

Capítulo

3

3 CENÁRIOS DE REFERÊNCIA, BAIXO CARBONO E BAIXO CARBONO COM INOVAÇÃO

Este capítulo apresenta os cenários de referência (REF), baixo carbono (BC) e baixo carbono com inovação (BC+I), com foco no consumo de energia e nas emissões de GEE, construídos para o setor de alimentos e bebidas. O horizonte de projeção é de 2050, sendo considerados parâmetros reais de consumo de energia e fatores de emissão do *grid* elétrico para o período de 2011 a 2015 (MCTI, 2015; EPE, 2017). Considera-se 2010 o ano-base para as projeções, tendo em vista a ampla disponibilidade de parâmetros, em particular relativos a produção, consumo de energia e emissões (MCTIC, 2016; EPE, 2017).

A técnica de cenários empregada neste estudo não objetiva a realização de previsões para o setor. Trata-se de analisar efeitos, em particular sobre emissões, de estados futuros possíveis derivados dos pressupostos considerados na modelagem.

O cenário REF trata da evolução tendencial do consumo de energia e emissões de GEE, ou seja, com pequenas alterações estruturais em relação aos anos anteriores. Sua construção se deu, primeiramente, por meio de pesquisas dos dados históricos do setor, no que concerne ao consumo de energia por fonte, consumo específico e usos finais de energia, aspectos sintetizados no capítulo 1. Em seguida, foram determinados critérios e premissas que auxiliaram na projeção do cenário em questão, a qual se tratou de uma abordagem *bottom-up*, ou, como o próprio nome diz, de baixo para cima. De acordo com o então Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2010), esse tipo de abordagem permite detectar onde e como ocorrem as emissões, favorecendo o estabelecimento de medidas de mitigação.

O cenário BC foi construído considerando a penetração de algumas das MTD descritas no segundo capítulo, a partir de critérios que serão discutidos posteriormente. Por sua vez, no cenário BC+I, é avaliado o efeito sobre as emissões de GEE decorrente da maturação de tecnologias que se encontram em estágio de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Trata-se de um cenário com grande incerteza, que objetiva exclusivamente apontar o papel que as tecnologias de ruptura podem desempenhar no caso de se tornarem comprovadas e economicamente viáveis (DoD, 2011).

A seguir, serão descritas as premissas assumidas na construção dos cenários, e, em seguida, serão apresentados os resultados em termos de consumo de energia e emissões de GEE. Exclusivamente no cenário BC, serão apresentados os potenciais e custos marginais de abatimento das MTD consideradas.

3.1 CENÁRIO REF

3.1.1 PREMISAS

Para a elaboração do cenário REF, inicialmente, foi considerado o consumo energético para o ano-base de 2010, obtido no BEN (EPE, 2017), assim como a distribuição do consumo por combustível por uso final, baseada em CNI (2010). Estes últimos parâmetros podem ser vistos na Tabela 12.

Tabela 12 – Distribuição do Consumo Energético por Fontes e Uso Final

Fontes de energia	Distribuição por uso final					
	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Refrigeração	Iluminação	Outros
Gás natural	-	67%	33%	-	-	-
Carvão vapor	-	74%	26%	-	-	-
Lenha	-	54%	46%	-	-	-
Óleo diesel	95%	2%	3%	-	-	-
Óleo combustível	-	65%	31%	4%	-	-
GLP	34%	-	66%	-	-	-
Eletricidade	34%	14%	14%	34%	4%	-
Outras fontes/sec. petróleo	-	50%	50%	-	-	-
Total	12%	43%	32%	12%	1%	-

Fonte: Elaboração própria a partir de CNI, 2010

Em seguida, foi necessário mapear as tecnologias empregadas nas atividades fabris do setor de alimentos e bebidas. Foram consideradas as tecnologias constantes no Quadro 3.

Quadro 3 – Tecnologias Consideradas para o Setor de Alimentos e Bebidas

Caldeira a lenha
Caldeira a gás natural
Caldeira a óleo
Forno a lenha (câmara)
Forno a óleo
Forno elétrico
Forno a gás natural
Motores elétricos – força motriz
Motores elétricos – refrigeração
Motor a diesel – força motriz
Motor a GLP – força motriz
Motor a óleo – refrigeração

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 13 apresenta os rendimentos (eficiência) de conversão de insumos energéticos em energia final, no ano-base (2010), de acordo com as tecnologias escolhidas (CNI, 2010).

Tabela 13 – Rendimentos de Conversão de Insumos Energéticos por Tecnologias no Cenário REF em 2010

Tecnologia	Insumo energético		Serviço energético	
	Fonte de energia	Quantidade (GJ)	Descrição	Quantidade (GJ)
Caldeira a lenha	Lenha	1	Vapor	0,79
Caldeira a gás natural	Gás natural	1	Vapor	0,89
Caldeira a óleo	Óleo combustível	1	Vapor	0,86
Forno a lenha (câmara)	Lenha	1	Calor	0,55
Forno a óleo	Óleo combustível	1	Calor	0,55
Forno elétrico	Eletricidade	1	Calor	0,52
Forno a gás natural	Gás natural	1	Calor	0,52
Motores elétricos (força motriz)	Eletricidade	1	Eletricidade	0,79
Motores elétricos (refrigeração)	Eletricidade	1	Eletricidade	0,72
Motor a diesel (força motriz)	Diesel	1	Eletricidade	0,45
Motor a GLP (força motriz)	GLP	1	Eletricidade	0,35
Motor a óleo (refrigeração)	Óleo combustível	1	Eletricidade	0,50

Fonte: Elaboração própria a partir de CNI, 2010

A projeção da demanda de energia do setor foi feita a partir da distribuição do consumo energético por uso final e fontes no ano-base de 2010 (Tabela 12), utilizando taxas de crescimento elaboradas por Haddad (2015).

Tabela 14 – Taxas Médias de Crescimento Aplicadas na Projeção de Demanda Energética

Período	Crescimento Médio Anual
2010-2015	1,93%
2016-2020	1,96%
2021-2025	2,03%
2026-2030	1,84%
2031-2035	1,63%
2036-2040	1,41%
2041-2045	1,20%
2046-2050	0,99%

Fonte: Elaborado a partir de HADDAD, 2015

No âmbito da modelagem integrada dos cenários de emissões de GEE, que tem seus resultados publicados no documento *Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono*, é considerada uma visão alternativa de crescimento do PIB (MCTIC, 2017b). Esse cenário incorpora efeitos recentes da crise econômica nos agregados macroeconômicos, que por certo afetarão negativamente o crescimento setorial, reduzindo o consumo de energia e as emissões de GEE em relação aos níveis deste cenário REF.

Utilizando-se as taxas de crescimento da Tabela 14 e os dados relativos a consumo específico de energia e rendimentos de conversão anteriormente apresentados, é possível projetar o consumo de energia do setor de alimentos e bebidas até 2050.

A projeção das emissões de CO₂ se baseou na evolução da demanda energética para o cenário REF. Foram considerados os fatores de emissão *default* do IPCC constantes da Tabela 15, que também foram utilizados na Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – TCN (MCTIC, 2016). Por fim, foram desconsideradas emissões da lenha, posto que o fator de emissão é nulo, e, no caso da origem de florestas nativas, as emissões não foram medidas para evitar dupla contagem com o setor de Afolu.

Tabela 15 – Fatores de Emissão de CO₂ pelo Uso de Energéticos (Queima de Combustíveis)

Combustível	Fator de Emissão (tCO ₂ /TJ)
Gás natural	56,1
Coque de petróleo	97,5
Óleo combustível	77,4
Carvão mineral	94,6

Fonte: Elaboração própria com base em IPCC, 2006; MCTIC, 2016

Para a eletricidade proveniente do Sistema Interligado Nacional (SIN), foram utilizados os fatores de emissão informados pelo MCTI (2015) (Tabela 16). Para o período de 2017 a 2050, os valores são oriundos da modelagem integrada dos cenários de emissões do projeto. Esses fatores de emissão serão apresentados em valores médios por períodos, entre 2017 e 2050 (MCTIC, 2017a; 2017b).

Tabela 16 – Fatores de Emissão de CO₂ do SIN

Anos ou Períodos	Fatores de emissão (tCO ₂ /MWh)
2010	0,0512
2011	0,0292
2012	0,0653
2013	0,0960
2014	0,1355
2015	0,1244
2016	0,0817
2017-2020	0,0492
2021-2025	0,0468
2026-2030	0,0906
2031-2035	0,0993
2036-2040	0,1333
2041-2045	0,1920
2046-2050	0,2525

Fonte: Elaborado a partir de MCTI, 2015; MCTIC, 2017a; 2017b

Percebe-se significativo aumento do fator de emissão do *grid* elétrico a partir 2035, o qual decorre do deplecionamento do potencial hidrelétrico remanescente. Assim, a geração elétrica excedente, em um cenário REF, no qual inexistem políticas adicionais de baixo carbono, passa a ser atendida por fontes de energia mais baratas e com maior intensidade carbônica, em particular carvão mineral (MCTIC, 2017a; 2017b).

3.1.2 RESULTADOS

A partir das premissas descritas, inicialmente, chegou-se à demanda de energia para o setor até 2050. Percebe-se um incremento no consumo energético de 154% no período, que particularmente decorre do efeito atividade no setor, dado pelas taxas de crescimento do PIB oriundas de Haddad (2015).

Tabela 17 – Consumo de Energia do Setor de Alimentos e Bebidas no Cenário REF

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Consumo de energia (mil tep)	5.130	5.923	6.645	7.578	8.447	9.463	10.698	12.308	13.069

Fonte: Elaboração própria

A diferença relativa ao ano-base com relação a EPE (2017) decorre da metodologia *bottom-up* utilizada na construção dos cenários, tendo em vista a necessidade de mapear oportunidades de mitigação ao nível de tecnologias para avaliação dos potenciais e custos de abatimento no cenário BC.

A partir do consumo energético, foram aplicados os fatores de emissão constantes nas tabelas 15 e 16 para projetar as emissões totais de GEE do setor de alimentos e bebidas até 2050 (Tabela 18). Observa-se um incremento nas emissões de 112% no período de 2010 a 2050 no cenário REF.

Tabela 18 – Emissões de GEE do Setor de Alimentos e Bebidas no Cenário REF

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Emissões de GEE (MtCO ₂ e)	14,8	16,4	18,1	20,3	22,3	24,4	26,7	29,3	31,5

Fonte: Elaboração própria

3.2 CENÁRIO BC

3.2.1 PREMISAS

O cenário BC foi construído a partir da penetração de algumas MTD descritas no capítulo 2. Para a seleção das MTD, foram considerados dois critérios: i) tecnologias que apresentem nível de prontidão tecnológica (TRL) igual ou superior a 7 (DoD, 2011); ii) tecnologias que tenham maior potencial de redução de emissões de GEE.

Em função desses pressupostos, será considerada, no cenário BC, a introdução das atividades de baixo carbono listadas no Quadro 4.

Quadro 4 – MTD Consideradas no Cenário BC

MTD
Otimização do retorno do condensado em caldeiras a gás
Otimização do retorno do condensado em caldeiras a óleo
Manutenção periódica do purgador em caldeiras a gás
Manutenção periódica do purgador em caldeiras a óleo
Melhoria no isolamento de tubulações em caldeiras a gás
Melhoria no isolamento de tubulações em caldeiras a óleo
Recuperação de calor a partir de gases de combustão em caldeiras a gás
Recuperação de calor a partir de gases de combustão em caldeiras a óleo

Fonte: Elaboração própria

Todas as tecnologias listadas foram comprovadas e implantadas no setor em âmbito internacional e/ou nacional, portanto apresentam TRL igual a 9. Por esse motivo, considera-se sua penetração a partir de 2015

Em seguida, foram assumidos potenciais de economia de energia decorrentes da adoção das MTD, constantes na Tabela 19.

Tabela 19 – Potenciais de Economia de Energia das MTD

MTD	Economia de Combustíveis
Otimização do retorno do condensado em caldeiras a gás	5%
Otimização do retorno do condensado em caldeiras a óleo	5%
Manutenção periódica do purgador em caldeiras a gás	10%
Manutenção periódica do purgador em caldeiras a óleo	10%
Melhoria no isolamento de caldeiras a gás	8%
Melhoria no isolamento de caldeiras a óleo	8%
Recuperação de calor a partir de gases de combustão em caldeiras a gás	10%
Recuperação de calor a partir de gases de combustão em caldeiras a óleo	10%

Fonte: Elaborado a partir de WANG, 2009; AIG/EPA, 2014a; 2014b, 2014c; 2014d

Para as tecnologias listadas no Quadro 3 que tratam de maiores rendimentos, procurou-se projetar um crescimento da eficiência com base na evolução recente dos equipamentos utilizados no setor. As eficiências consideradas constam na Tabela 20.

Tabela 20 – Evolução das Eficiências de Conversão de Energia dos Equipamentos

Tecnologia	Ano	Rendimento
Motores elétricos – força motriz	2010	-
	2015	0,97
	2020	0,97
	2025	0,97
	2030	0,97
	2035	0,98
	2040	0,98
	2045	0,98
	2050	0,98
Motores elétricos – refrigeração	2010	-
	2015	0,57
	2020	0,60
	2025	0,62
	2030	0,65
	2035	0,67
	2040	0,69
	2045	0,71
	2050	0,73
Forno a lenha (câmara)	2010	0,55
	2015	0,57
	2020	0,60
	2025	0,62
	2030	0,65
	2035	0,67
	2040	0,69
	2045	0,71
	2050	0,73
Forno a óleo	2010	0,55
	2015	0,57
	2020	0,60
	2025	0,62
	2030	0,65
	2035	0,67
	2040	0,69
	2045	0,71
	2050	0,73

Forno elétrico	2010	0,52
	2015	0,55
	2020	0,57
	2025	0,59
	2030	0,61
	2035	0,63
	2040	0,65
	2045	0,67
	2050	0,68
Forno a gás natural	2010	0,52
	2015	0,55
	2020	0,57
	2025	0,59
	2030	0,61
	2035	0,63
	2040	0,65
	2045	0,67
	2050	0,68

Fonte: Elaboração própria

Por fim, adotaram-se os mesmos procedimentos do cenário REF para projetar a demanda de energia e emissões de GEE.

3.2.2 RESULTADOS

Aplicando-se os potenciais de economia da energia das MTD, pôde-se chegar ao consumo de energia até 2050 no cenário BC. Verifica-se que o crescimento no período de 2010 a 2050 é de 129% (Tabela 21) e que há redução, com relação ao cenário REF, de 10% em 2050 (Figura 9).

Tabela 21 – Consumo de Energia do Setor de Alimentos e Bebidas no Cenário BC

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Consumo de energia (mil tep)	5.130	5.560	6.060	6.815	7.573	8.495	9.631	11.148	11.762

Fonte: Elaboração própria

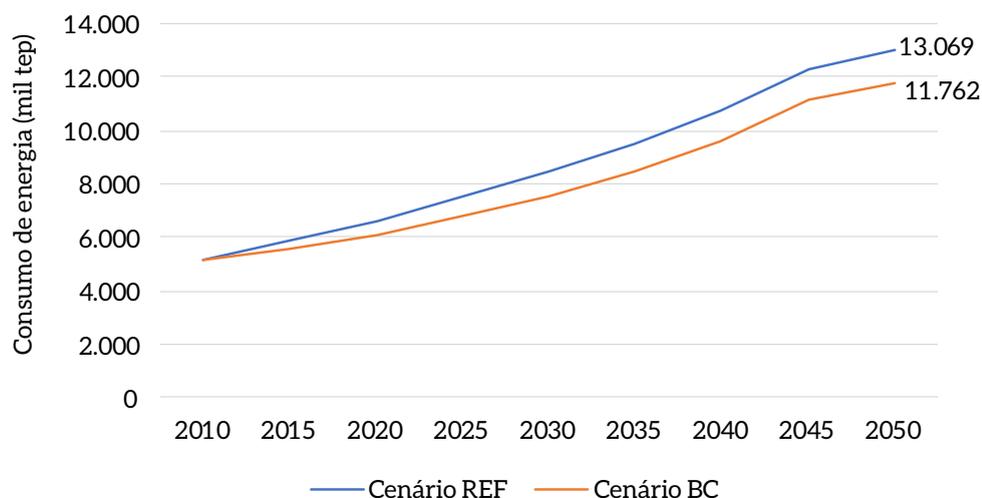


Figura 9 – Demanda de Energia dos Cenário REF e BC

Fonte: Elaboração própria

A partir da projeção da demanda de energia para o cenário BC, foram mensuradas as emissões de CO₂ do setor de alimentos e bebidas no cenário BC. Foram utilizados os mesmos fatores de emissão utilizados para o cenário REF. As emissões totais de CO₂ são apresentadas na Tabela 22 e, na Figura 10, tem-se a projeção de emissões nos cenários REF e BC. Pode-se constatar que a implementação das MTD diminui a taxa de crescimento das emissões para 78% no período, implicando redução, com relação ao cenário REF, de 16,2% em 2050.

Tabela 22 – Emissões de GEE do Setor de Alimentos e Bebidas no Cenário BC

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Emissões de GEE (MtCO ₂ e)	14,8	15,0	15,8	17,4	19,0	20,7	22,6	24,8	26,4

Fonte: Elaboração própria

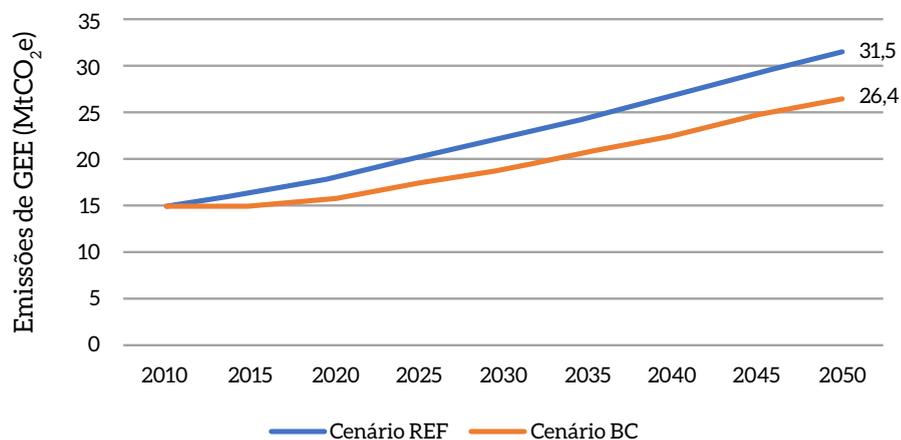


Figura 10 – Emissões de GEE nos Cenários REF e BC

Fonte: Elaboração própria

3.2.3 CUSTOS MARGINAIS DE ABATIMENTO

Nesta seção, são calculados os custos marginais de abatimento (CMA) das MTD listadas no início deste capítulo. Inicialmente, serão brevemente descritos os procedimentos metodológicos considerados no cálculo desses custos. Em seguida, serão descritas as premissas, em particular, relativas à definição do custo de oportunidade do capital (taxa de desconto) do setor. Por fim, serão apresentados os resultados, com destaque para a curva de CMA, que relaciona os potenciais e custos das opções de mitigação até 2050.

O CMA consiste na diferença entre o custo do cenário REF e o custo do cenário de mitigação, ambos expressos por unidade de massa de CO₂ equivalente (US\$/tonelada CO₂e) (HENRIQUES JR., 2010). Sendo assim, o custo do CO₂e evitado consiste no gasto necessário para mitigar cada unidade de CO₂e.

Quando o custo é negativo, entende-se que a mitigação incorre em benefícios líquidos, ou seja, além de possibilitar redução da emissão de CO₂e, provê retorno financeiro ao longo da vida útil da tecnologia e/ou horizonte de implementação da atividade de baixo carbono. Por outro lado, se o custo mesmo for positivo, a mitigação de emissões demandará esforço financeiro para o agente, exceto mediante precificação de carbono no mercado. Nesse caso, apenas quando o custo da medida for inferior ao preço de carbono, o delta entre os valores representa ativo financeiro para o agente.

O CMA leva em conta investimentos necessários, custos operacionais em geral (inclusive com os energéticos) e economias em geral (HALSNAES et al., 1998). Esse custo, para cada opção de mitigação, é determinado a partir do custo incremental com a implementação da medida em comparação com o cenário REF e das emissões anuais evitadas, conforme equação 1:

$$CMA_{opção} = \frac{CAL^{baixo\ carbono} - CAL^{base}}{EA^{base} - EA^{baixo\ carbono}} \text{ (Equação 1)}$$

Em que, CMA é o custo marginal de abatimento por atividade de baixo carbono; CAL, o custo anual líquido referente aos cenários de referência (base) e baixo carbono; e EA, a emissão anual dos cenários de referência e baixo carbono.

O custo anual líquido (CAL) representa a diferença do custo de investimento anualizado e do resultado financeiro anual da implantação de opção de mitigação. Esse resultado financeiro é dado pela receita total e pelos gastos com operação e manutenção com a implantação da opção, conforme equação 2:

$$CAL = \frac{INV * r * \left[\frac{(1+r)^t}{(1+r)^t} - 1 \right] + OM + COMB - REC}{(1+r)^{(n-2011)}} \text{ (Equação 2)}$$

Em que, INV é igual ao custo do investimento da medida; r é a taxa de desconto; OM é igual ao custo de operação e manutenção da medida; COMB é o custo com combustíveis; REC é a receita obtida com a implementação da medida; e n, o ano de análise.

3.2.3.1 PREMISSAS

Para mensurar os custos marginais de abatimento das MTD, inicialmente, fez-se necessário identificar taxas de desconto. A taxa de desconto de um investimento consiste no custo de oportunidade do capital, ou o custo do capital utilizado em uma análise de retorno. A definição da taxa de desconto de mercado adotada em um projeto tem importância fundamental e necessita ser bem calibrada para permitir boa avaliação dos custos de abatimento do setor. Uma das formas empregadas para o seu cálculo utiliza o custo do capital próprio da empresa, que é comparado à rentabilidade de diferentes ativos nos quais o setor poderia investir. Nesse cálculo, parte-se, normalmente, de uma taxa livre de risco, à qual se aplicam prêmios de risco para cada opção de investimento.

Além de pesquisa na literatura, foi realizada uma reunião exploratória com a Abia para que pudesse ser encaminhada uma pesquisa para as empresas associadas responderem sobre a taxa de desconto praticada. Três empresas responderam, considerando as taxas de desconto social e de mercado de 8% e 15% ao ano, respectivamente, adequadas. Logo, selecionaram-se essas taxas de desconto para calcular os custos de abatimento das MTD.

Tendo em vista os dados necessários para aplicação na Equação 2, fez-se necessário obter os preços de combustíveis constantes na Tabela 23.

Tabela 23 – Preços dos Combustíveis

Combustíveis	Unidade	Preço
Gás natural	US\$/m ³	0,65
Lenha	US\$/m ³	27,46
Óleo diesel	US\$/litro	1,06
Óleo combustível	US\$/litro	0,53
GLP	US\$/kg	1,97
Eletricidade	US\$/MWh	147,85

Fonte: Elaborado a partir de EPE, 2017.

Em seguida, foi necessário projetar preços dos combustíveis para obtenção dos custos marginais de abatimento até 2050. Para tanto, foram analisados cenários de preços de petróleo, dos quais derivam preços dos insumos energéticos. Nos cálculos de CMA realizados pela taxa de desconto de mercado, o preço do petróleo foi considerado constante. No caso, US\$ 75 por barril. Trata-se de um preço de robustez do petróleo, que é conservador para não subestimar os custos de abatimento das medidas. No caso da taxa de desconto social, foi considerada a evolução de preços de petróleo do cenário *Low Price Case* do EIA (Figura 11) (EIA, 2015).

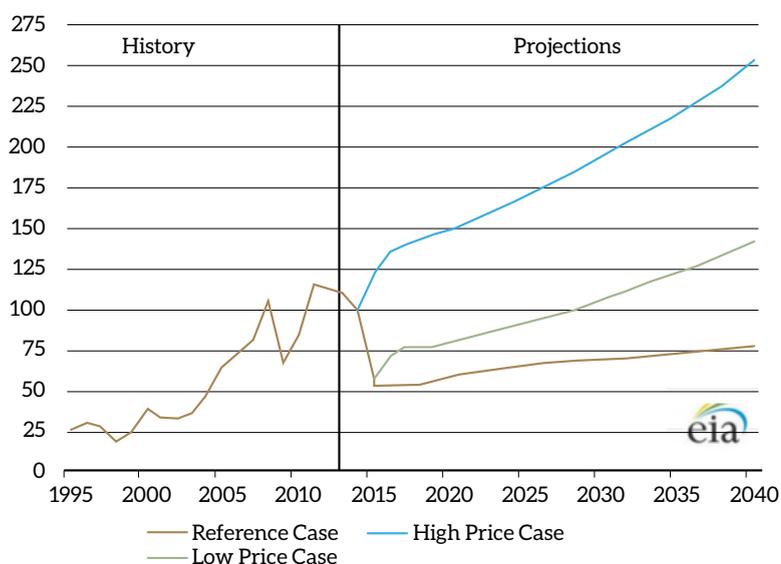


Figura 11 – Preços de Petróleo para Três Cenários (1995-2040)

Fonte: EIA, 2015

A Tabela 24 resume os preços de petróleo considerados para o cálculo do CMA das possibilidades de mitigação, segundo taxas de desconto pelas óticas de mercado e social.

Tabela 24 – Preços de Petróleo Considerados para o Cálculo do Custo Marginal de Abatimento das Possibilidades de Mitigação

Taxa de Desconto	Preço do Petróleo (US\$/barril)							
	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
12% ao ano (Ótica de mercado)	75	75	75	75	75	75	75	75
8% ao ano (Ótica social)	55	75	90	105	120	135	140	145

Fonte: Elaboração própria a partir de EIA, 2015

Perante os cenários de preços do petróleo, foram projetados preços dos insumos energéticos para mensuração dos CMA segundo a taxa de desconto social (Tabela 25). Cumpre destacar que esse procedimento não é necessário para aplicação ao cálculo com taxa de desconto de mercado, na medida em que o preço de petróleo é constante no período. Logo, são considerados os preços dos insumos energéticos apresentados na Tabela 23.

Tabela 25 – Preços dos Combustíveis e da Eletricidade para a Taxa de Desconto de 8% ao ano

Combustíveis	Unidade	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	US\$/m ³	0,65	0,65	0,89	1,06	1,24	1,42	1,60	1,66	1,72
Lenha	US\$/m ³	27,46	27,46	37,44	44,93	52,42	59,91	67,40	69,89	72,39
Óleo diesel	US\$/litro	1,06	1,06	1,45	1,74	2,02	2,31	2,60	2,70	2,80
Óleo combustível	US\$/litro	0,53	0,53	0,73	0,87	1,02	1,16	1,31	1,35	1,40
GLP	US\$/kg	1,97	1,97	2,69	3,22	3,76	4,30	4,83	5,01	5,19
Eletricidade	US\$/MWh	147,85	147,85	201,61	241,94	282,26	322,58	362,90	376,34	389,78

Fonte: Elaboração própria a partir de EIA, 2015; EPE; 2017

A Tabela 26 resume os custos de capital e operação e manutenção (O&M) relativos às MTD consideradas no cenário BC.

Tabela 26 – Custos de Capital e O&M das MTD

MTD	Custos (US\$ 2010/TJ)	
	Capital	O&M
Otimização do retorno do condensado em caldeiras a gás	850,0	8,5
Otimização do retorno do condensado em caldeiras a óleo	850,0	8,5
Manutenção periódica do purgador em caldeiras a gás	440,0	4,4
Manutenção periódica do purgador em caldeiras a óleo	440,0	4,4
Melhoria no isolamento de tubulações em caldeiras a gás	1.330,0	13,3
Melhoria no isolamento de tubulações em caldeiras a óleo	1.330,0	13,3
Recuperação do calor a partir de gases de combustão em caldeiras a gás	1.880,0	18,8
Recuperação do calor a partir de gases de combustão em caldeiras a óleo	1.880,0	18,8

Fonte: Elaboração própria a partir de WANG, 2009

3.2.3.2 RESULTADOS

Considerando as premissas adotadas, foram calculados os custos de abatimento para cada medida, bem como seus potenciais de abatimento até 2050, para taxas de desconto de 8% e 15% ao ano (Tabela 27 e Tabela 28).

Tabela 27 – Custos e Potenciais Acumulados de Abatimento para Taxa de Desconto de 8% a.a.

MTD	Custo de abatimento (US\$/tCO ₂)	Potencial de abatimento (MtCO ₂)
Otimização do retorno do condensado (caldeiras a gás)	-184,57	2,80
Melhoria no isolamento de tubulações (caldeiras a gás)	-180,55	4,48
Manutenção periódica do purgador (caldeiras a gás)	-180,55	5,96
Recuperação de calor dos gases de combustão (caldeiras a gás)	-178,85	4,78
Recuperação de calor dos gases de combustão (caldeiras a óleo)	-71,28	1,72
Melhoria no isolamento de tubulações (caldeiras a óleo)	-44,42	1,62
Otimização do retorno do condensado (caldeiras a óleo)	-33,75	1,01
Manutenção periódica do purgador (caldeiras a óleo)	-30,83	2,20

Fonte: Elaboração própria

Tabela 28 – Custos e Potenciais Acumulados de Abatimento para Taxa de Desconto de 15% a.a.

MTD	Custo de abatimento (US\$/tCO ₂)	Potencial de abatimento (MtCO ₂)
Otimização do retorno do condensado (caldeiras a gás)	-94,08	2,80
Manutenção periódica do purgador (caldeiras a gás)	-92,18	5,96
Melhoria no isolamento de tubulações (caldeiras a gás)	-92,14	4,48
Recuperação de calor dos gases de combustão (caldeiras a gás)	-90,79	4,78
Recuperação de calor dos gases de combustão (caldeiras a óleo)	-35,95	1,72
Melhoria no isolamento de tubulações (caldeiras a óleo)	-22,36	1,62
Manutenção periódica do purgador (caldeiras a óleo)	-14,02	2,20
Otimização do retorno do condensado (caldeiras a óleo)	-2,26	1,01

Fonte: Elaboração própria

Os resultados obtidos mostram que, para todas as medidas, os custos de abatimento calculados com a taxa de 15% são maiores do que os custos calculados com a taxa de 8%. Esse resultado já era esperado. O fator de recuperação de capital com a utilização de 15% como taxa de desconto é maior, o que resulta em um valor presente do investimento maior e conseqüentemente maior custo de abatimento das medidas.

É possível perceber que todo o potencial de abatimento com as referidas taxas de desconto é custo-negativo, indicando que as MTD são atrativas sob o ponto de vista econômico. Todavia, isso não significa que as medidas possam ser implementadas, uma vez que barreiras não econômicas, como deficiências regulatórias, aspectos comportamentais, entre outras, podem estar presentes. Mais que isso, mesmo barreiras econômicas não captadas nos custos de abatimento podem impedir a adoção das atividades, caso da disponibilidade de crédito para realização dos investimentos. Tais aspectos serão brevemente analisados no capítulo 4.

As curvas de custos de abatimento podem ser construídas no nível de tecnologia/atividade ou setor/programa. As curvas no nível de tecnologia/atividade obtidas neste trabalho são mais simples e avaliam cada opção de mitigação separadamente, com base nos seus custos e emissões evitadas (Figura 12 e Figura 13).

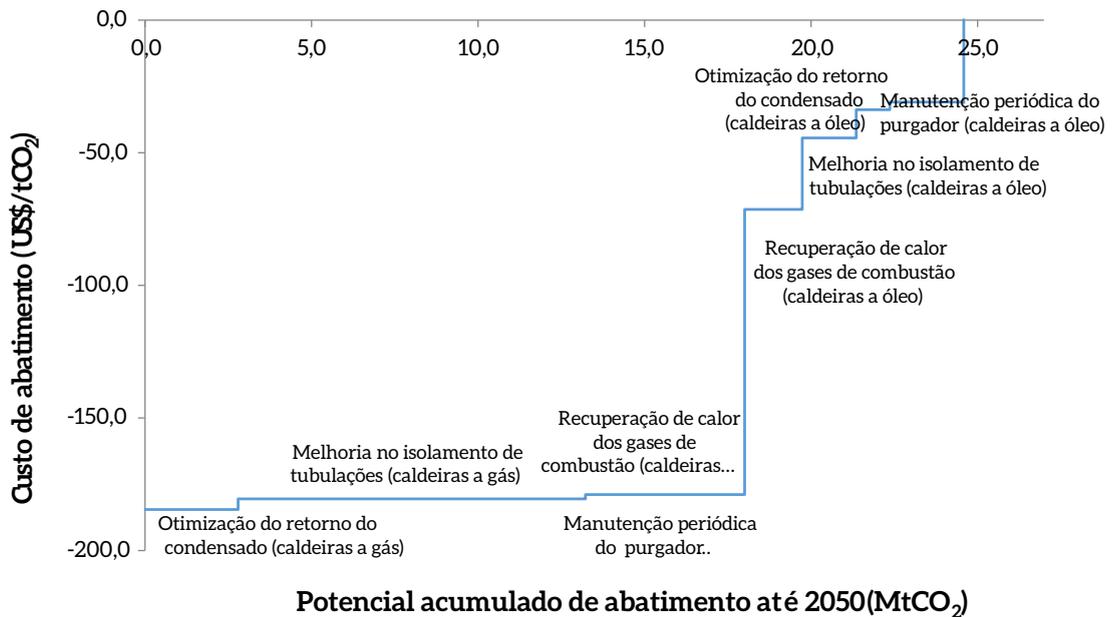


Figura 12 – Curva de Custos Marginais de Abatimento com Taxa de Desconto de 8% ao ano

Fonte: Elaboração própria

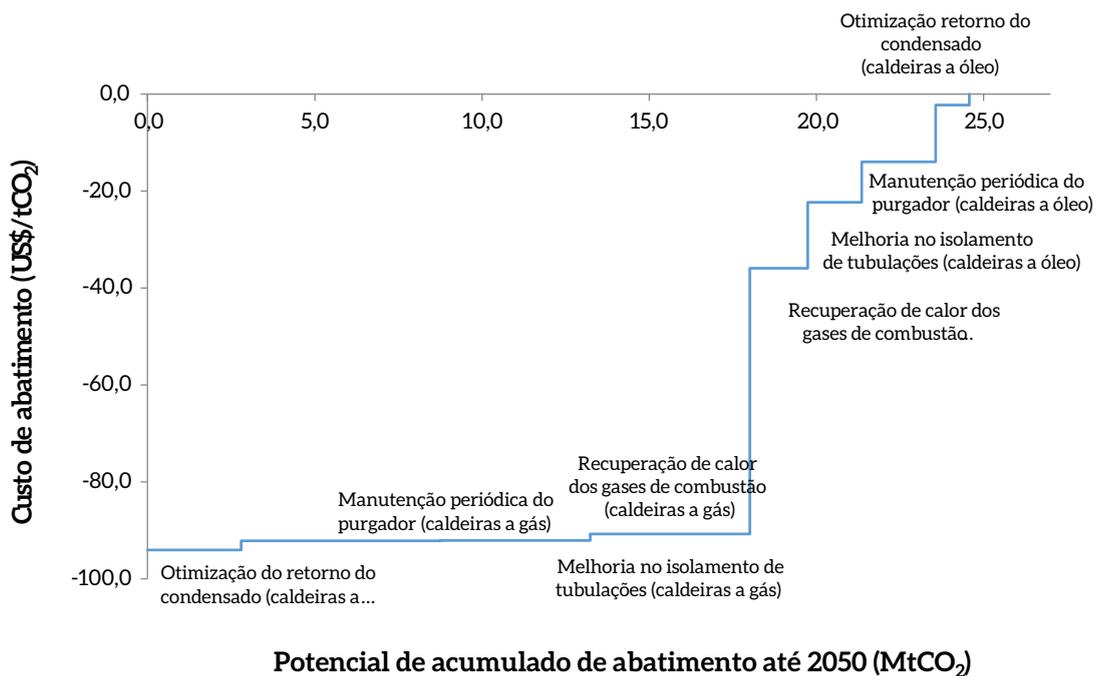


Figura 13 – Curva de Custos Marginais de Abatimento com Taxa de Desconto de 15% ao ano

Fonte: Elaboração própria

Interessante notar que o potencial demonstrado representa a redução acumulada das emissões das medidas aplicadas até 2050. O potencial acumulado de abatimento de emissões foi estimado em cerca de 24,5 MtCO₂.

Entretanto, esse potencial de abatimento não representa o potencial líquido de redução de emissões do setor. É apenas o total da redução de cada medida aplicada em relação ao cenário REF. Dessa forma, pode ocorrer, e está ocorrendo, dupla contagem de redução de emissões, visto que a redução do consumo energético de duas medidas não é necessariamente igual à soma de suas contribuições individuais. Essa característica das curvas de abatimento convencionais e setoriais mostra a necessidade de uma modelagem integrada para a eliminação da dupla contagem e para representar, de forma mais fidedigna, o potencial de mitigação do setor. Tal aspecto justifica a publicação do documento *Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono*, que deve ser utilizado como referencial para avaliação das oportunidades setoriais de mitigação de emissões de GEE (MCTIC, 2017b).

3.3 CENÁRIO BC+I

Este item descreverá, brevemente, tecnologias de ruptura aplicáveis aos processos produtivos do setor, com potencial de viabilização comercial no longo prazo. Em seguida, serão descritos premissas e parâmetros considerados na construção do cenário BC+I. Por fim, serão apresentadas as projeções de demanda de energia e emissões de CO₂ relativas ao cenário.

Diferentemente do cenário BC, a inexistência de parâmetros econômicos de grande parte das tecnologias inovadoras inviabiliza a mensuração de custos de abatimento de emissões de GEE. Portanto, trata-se de avaliar exclusivamente o potencial técnico de mitigação que está condicionado à criação de políticas públicas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I), visando ao desenvolvimento de tecnologias de ruptura aplicáveis aos processos fabris do setor de alimentos e bebidas.

Algumas tecnologias que serão descritas já vêm sendo testadas, mas ainda não se encontram na fase comercial. Logo, podem ser classificadas em níveis de prontidão tecnológica (TRL) inferiores a 7, que indicam que as tecnologias se encontram em fase de pesquisa, desenvolvimento e demonstração (PD&D) para aplicação no setor (DoD, 2011).

3.3.1 TECNOLOGIA INOVADORAS PARA O SETOR

A pasteurização com campos elétricos pulsantes é um método não térmico de pasteurização, no qual os produtos alimentícios são expostos a pulsos elétricos de alta voltagem que quebram células biológicas e desativam microrganismos (LUNG et al., 2006). Suas vantagens incluem temperaturas mais baixas de processamento, menor tempo de permanência do produto e deterioração mínima da qualidade. O processo tradicional utiliza, na maioria dos casos, gás natural para o aquecimento e eletricidade para o resfriamento. A economia de energia dessa nova tecnologia seria de 100% no caso do gás natural, uma vez que deixa de haver processo térmico. Já o consumo de eletricidade pode sofrer aumento de até 10%.

Laitner e Brown (2005), em sua análise de inovações industriais para a criação de tecnologias mais eficientes em termos energéticos, apresentam uma tecnologia de ruptura aplicável ao setor. Trata-se da separação por membranas mais eficientes, em que materiais nanoporosos permitem separações em escala molecular de alto rendimento. Estima-se que, para a indústria americana de alimentos e bebidas, a substituição de processos de separação por esses métodos resultaria em economia de energia em torno de 3% ao ano.

Lung et al. (2006) destacam tecnologia de branqueamento mais eficiente. De acordo com os autores, os processos comuns de branqueamento envolvem a passagem dos materiais crus por um banho de água quente ou por uma atmosfera de vapor quente (LUNG et al., 2006). O processo de branqueamento eficiente utilizaria gabinetes isolados termicamente, empregando selos hidrostáticos ou cortinas de água para diminuir a evaporação e a recirculação do meio energético ao máximo. Um branqueador eficiente em desenvolvimento, chamado Turbo-FloBlancher, demonstrou economia de energia de 30% a 70% quando comparado a branqueadores comuns, em condições de laboratório (LUNG et al., 2006).

Lung et al. (2006) destacam o potencial de economia de energia associado ao controle dos ventiladores dos evaporadores para armazenamento refrigerado. O controle avançado dos ventiladores pode levar a uma redução significativa do consumo energético da refrigeração por meio da regulação da velocidade dos motores para melhor atender as necessidades dos ciclos de refrigeração. De acordo com o DOE (apud LUNG et al., 2006), tais controles podem reduzir o consumo de energia dos evaporadores e compressores dos sistemas de refrigeração entre 40% e 50%.

Por fim, Laitner e Brown (2005) destacam o potencial de conservação de energia relativo à adoção de sistemas de sensores auto-otimizadores. Trata-se de microssensores de baixíssimo consumo energético que fluem ao longo do processo industrial ou tornam-se parte do produto final. Esses sistemas, com telemetria sem fio para possibilitar controle e otimização adaptáveis e flexíveis, já são utilizados em algumas atividades. Assim, prognósticos antecipadores podem possibilitar melhorias no objetivo de otimizar continuamente as plantas industriais, com economias de energia da ordem de 0,8% ao ano.

3.3.2 PREMISAS

As tecnologias de ruptura anteriormente descritas, e que terão seus potenciais de economia de energia e efeitos sobre emissões avaliados no cenário BC+I, são listadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Tecnologias de Ruptura Avaliadas no Cenário BC+I

Tecnologias de ruptura
Pasteurização por campos elétricos pulsantes
Separação por membranas
Branqueamento por Turbo-FloBlancher
Controle de evaporadores e ventiladores para armazenamento refrigerado
Sensores auto-otimizadores

Fonte: Elaboração própria

Inicialmente, faz-se necessário reportar os potenciais de economia de energia e a aplicabilidade máxima de cada tecnologia no cenário BC+I. No que se refere à penetração das tecnologias, foi considerado que tais tecnologias seriam implementadas a partir de 2020, atingindo a aplicabilidade listada na Tabela 29 em 2050.

Tabela 29 – Potenciais de Economia de Energia e Aplicabilidade das Tecnologias Inovadoras

Tecnologia	Potencial de economia de energia ao ano	Aplicabilidade máxima
Pasteurização por campos elétricos pulsantes	100% de redução de energia térmica e aumento de 10% na eletricidade	50%
Separação por membranas	3%	25%
Sensores auto-otimizadores	0,8% do consumo total das plantas	25%
Branqueamento por Turbo-FloBlancher	50%	25%
Controle de evaporadores e ventiladores para armazenamento refrigerado	45%	25%

Fonte: Elaboração própria

Para estabelecer o consumo energético resultante da aplicação das tecnologias de ruptura, foram utilizados os dados de potencial de redução do consumo energético e de penetração até 2050, chegando aos níveis contidos na Tabela 30.

Tabela 30 – Consumo Energético por Tecnologia de Ruptura

Tecnologia	Ano	Consumo energético (TJ)
Pasteurização por campos elétricos pulsantes	2010	-
	2015	-
	2020	694,49
	2025	1.586,83
	2030	2.788,39
	2035	4.489,32
	2040	7.035,84
	2045	11.103,06
	2050	18.041,64

Separação por membranas	2010	-
	2015	-
	2020	297,63
	2025	329,04
	2030	360,51
	2035	390,91
	2040	419,24
	2045	444,93
	2050	467,37
Branqueamento por Turbo-FloBlancher	2010	-
	2015	-
	2020	3.646,06
	2025	4.165,42
	2030	4.879,69
	2035	5.892,24
	2040	7.387,63
	2045	9.715,18
	2050	13.531,23
Controle de evaporadores e ventiladores para armazenamento refrigerado	2010	-
	2015	-
	2020	5.864,46
	2025	7.668,39
	2030	10.374,65
	2035	14.578,39
	2040	21.337,25
	2045	32.567,01
	2050	51.795,45
Sensores auto-otimizadores	2010	-
	2015	-
	2020	213,71
	2025	542,94
	2030	1.066,45
	2035	1.946,70
	2040	3.502,09
	2045	6.506,21
	2050	12.982,33

Fonte: Elaboração própria

3.3.3 RESULTADOS

Aplicando-se os potenciais de economia da energia das tecnologias inovadoras, pôde-se chegar ao consumo de energia até 2050 no cenário BC+I. Verifica-se que o crescimento no período de 2010 a 2050 é de 117% (Tabela 31) e que há redução, com relação ao cenário REF, de 15% em 2050.

Tabela 31 – Consumo de Energia do Setor de Alimentos e Bebidas no Cenário BC+I

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Consumo de energia (mil tep)	5.130	5.560	5.968	6.659	7.345	8.184	9.226	10.637	11.173

Fonte: Elaboração própria

A partir da projeção do consumo energético do setor até 2050 no cenário BC+I, pôde-se realizar a análise gráfica comparativa entre os três cenários elaborados: REF, BC e BC+I.

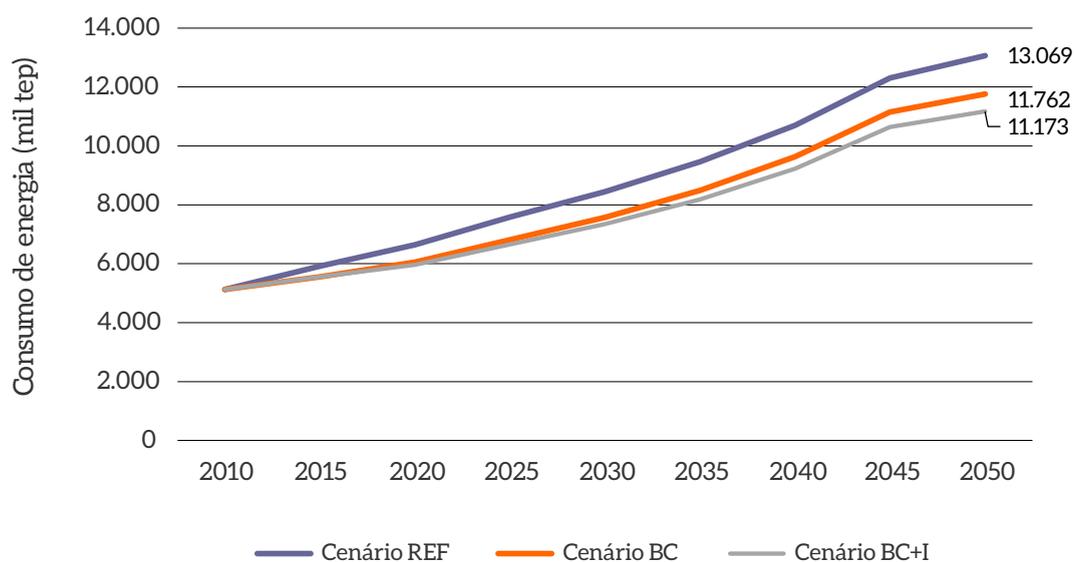


Figura 14 – Demanda de Energia nos Cenários REF, BC e BC+I

Fonte: Elaboração própria

As emissões de GEE do cenário BC+I foram mensuradas a partir do consumo energético e segundo fatores de emissão reportados na seção 3.1.1. Observa-se queda de 22,5% nas emissões com relação ao cenário REF.

Tabela 32 – Emissões de GEE do Setor de Alimentos e Bebidas no Cenário BC+I

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Emissões de GEE (MtCO ₂ e)	14,8	15,0	15,6	16,9	18,2	19,7	21,3	23,1	24,4

Fonte: Elaboração própria

Após a consolidação dos cenários REF, BC e BC+I, foi possível compará-los em termos de emissão de dióxido de carbono e consumo de energia. A Figura 15 mostra a comparação entre a evolução das emissões de CO₂ nos três cenários.

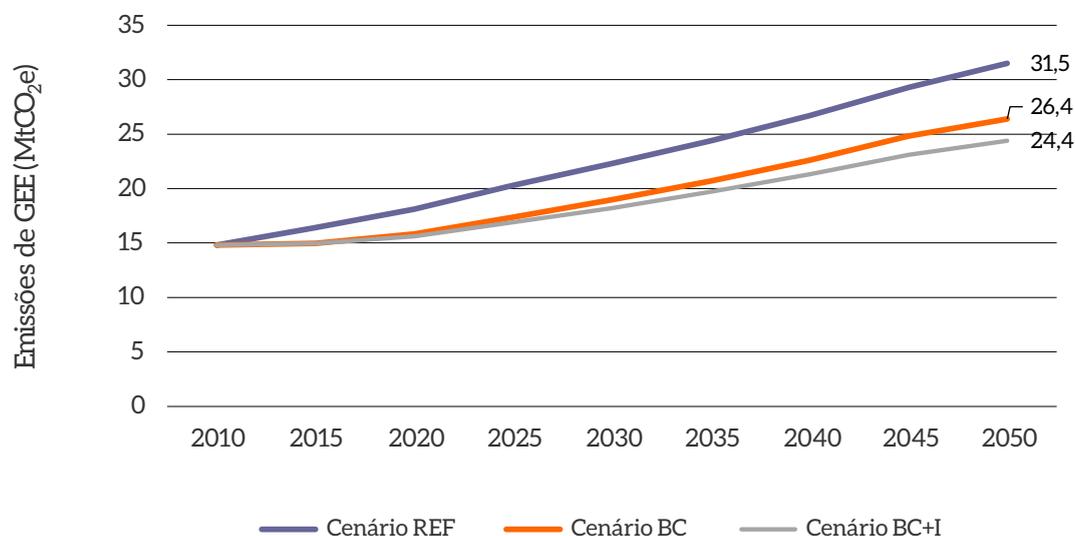
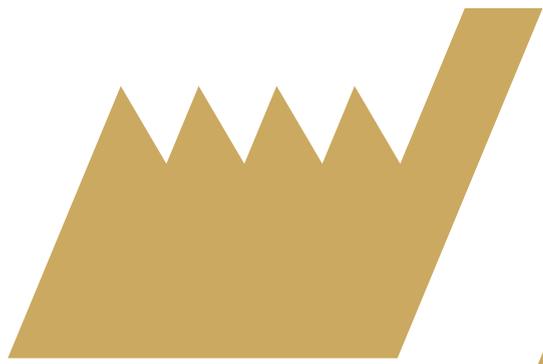


Figura 15 – Emissões de GEE nos Cenários REF, BC e BC+I

Fonte: Elaboração própria

Ainda que o potencial de mitigação dos cenários de baixo carbono seja significativo, não devem ser desconsideradas as barreiras à adoção das tecnologias disponíveis comercialmente e de ruptura, que são tecnológicas, regulatórias e econômicas, sobretudo. No próximo capítulo, serão tratados de forma mais detalhada barreiras existentes para a entrada das tecnologias e seus cobenefícios, assim como instrumentos de política capazes de removê-las e potencializá-los, respectivamente.



Subsídios à formulação de instrumentos de política pública para a adoção dos cenários de baixo carbono

Capítulo

4

4 SUBSÍDIOS À FORMULAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA A ADOÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO

Perante o mapeamento das oportunidades de mitigação, este capítulo, inicialmente, objetiva analisar as barreiras e os cobenefícios da sua aplicação enquanto estratégia de baixo carbono. Partindo desse mapeamento, que também considera experiências nacionais e internacionais com políticas públicas relacionadas à temática, serão propostos instrumentos capazes de incentivar a penetração das medidas mapeadas no âmbito dos cenários de baixo carbono pelo setor de alimentos e bebidas.

Pôde-se constatar um potencial acumulado de abatimento de 24,5 MtCO₂ no cenário BC, com a totalidade desse montante apresentando custos de abatimento negativos segundo taxas de desconto social e de mercado. Entretanto, mesmo que todas as atividades de baixo carbono sejam atrativas sob o ponto de vista financeiro, aspectos que não foram avaliados no estudo poderiam levar a resultados distintos. Tipicamente, análises setoriais de oportunidades de mitigação de emissões de GEE tendem a desconsiderar aspectos que afetam significativamente a mensuração de potenciais e custos de abatimento: i) competição por tecnologias de baixo carbono com outros setores; ii) adequação dos custos de capital e O&M, obtidos na literatura científica, à realidade econômico-tributária do país; iii) impactos de deficiências regulatórias, refletidos em custos de transação que não capturados pela metodologia de CMA; iv) não aditividade e aplicabilidade de medidas em face de restrições técnico-operacionais; entre outras.

No caso das tecnologias de ruptura avaliadas no cenário BC+I, o potencial de mitigação seria maior, qual seja de 22,5% de redução de emissões com relação ao cenário REF, em 2050. Todavia, são medidas mitigadoras de emissão distantes da aplicabilidade no setor, sendo o objetivo da análise demonstrar os efeitos que trariam mediante a remoção de substanciais barreiras por meio de instrumentos de política pública variados, mas em particular voltados a PD&D.

As lacunas associadas à não aditividade e à competição por tecnologias de baixo carbono são superadas por meio da técnica de integração de cenários adotada pelo projeto (MCTIC, 2017b). Seus resultados permitem obter informações precisas em termos de potenciais e custos de mitigação de emissões de GEE. Por exemplo, constatou-se que somente a recuperação de calor a partir de gases de combustão e a melhoria no isolamento de tubulações, perante o conjunto de medidas com custo de abatimento negativo (Tabela 28 e Tabela 29), são verdadeiramente custo-efetivas no horizonte de implementação até 2050. E, mesmo que tenham custo-efetividade, exigem a remoção de barreiras para sua adoção, pois não fazem parte, em sentido amplo, do *baseline* setorial.

Com o objetivo de fornecer elementos para que os formuladores de política pública possam implementar, efetivamente, instrumentos que permitam abater emissões do setor, serão discutidos os seguintes tópicos neste capítulo:

- i)** Identificação de barreiras e cobenefícios à adoção de medidas de baixo carbono no setor;
- ii)** Exemplos internacionais e nacionais de políticas públicas de baixo carbono;
- iii)** Instrumentos de política pública aplicáveis ao setor para promover o abatimento de emissões de GEE;
- iv)** Síntese da proposta de instrumentos de política pública para a implementação do cenário BC.

4.1 BARREIRAS E COBENEFÍCIOS À IMPLEMENTAÇÃO DAS ATIVIDADES DE BAIXO CARBONO NO SETOR

Neste estudo, assim como em Bergh (2012), as barreiras serão avaliadas considerando as seguintes categorias: econômicas e de mercado; regulatórias e institucionais; comportamentais e informacionais/culturais; e tecnológicas.

Existem problemas específicos para cada setor industrial e problemas específicos relacionados ao porte das empresas que são aplicáveis ao setor de alimentos e bebidas. CNI (2009) identificou barreiras comuns entre os diversos setores industriais que impedem o aproveitamento dos potenciais de eficiência energética:

- Não existem linhas de financiamento ou as existentes são inadequadas para as ações de eficiência energética;
- Existe competição entre a racionalização do uso de energia e prioridades de investimento;
- Existe necessidade de capacitação de pessoal para a correta identificação de oportunidades de eficiência energética e para a gestão dos projetos que se mostrarem viáveis;
- Novas tecnologias de eficiência podem significar riscos técnicos na visão da empresa.

No cenário BC, foram avaliadas exclusivamente as MTD de eficiência energética, sendo que todas apresentam custos de abatimento negativos. Embora as medidas sejam economicamente viáveis, faz-se necessário realizar investimentos significativos para implementá-las. Além dessa barreira econômica, a atual situação econômica do país leva a que o governo realize ajustes fiscais que dificultam o acesso a crédito por parte do setor. Esse aspecto influencia até a realização de investimento em medidas viáveis economicamente, pois a conjuntura econômica recessiva afeta a capacidade financeira das empresas e impede que o governo conceda crédito com taxas de juro atrativas junto aos bancos públicos de fomento. Essas restrições são percebidas em termos da disponibilidade de capital no mercado de crédito, bem como do aumento da taxa de juros para a concessão de financiamentos. Existe assimetria no acesso ao crédito associado ao porte das empresas, o que inibe a realização de investimentos em ações de eficiência energética por médias e pequenas empresas, bem como custos de transação que precisariam ser removidos para a realização de investimentos. Finalmente, a recessão afeta a renda das famílias e, conseqüentemente, a demanda por bens de consumo não durável, como é o caso de produtos alimentícios e bebidas, o que dificulta a realização de investimentos pelo setor em eficiência dos processos produtivos.

Ainda que a barreira de acesso ao capital possa ser removida, não necessariamente os recursos seriam integralmente destinados para esse propósito, em face da competição com outros investimentos, como os necessários para expandir a capacidade de produção. Em geral, todos os acionistas estão inclinados a seguir o *status quo*, que tende a ser menos eficiente e conservador, respondendo em termos de eficiência energética apenas em situações críticas, como escassez de recursos. Por isso, investimentos no incremento da capacidade de produção e na penetração de mercado tendem a ser priorizados (UNIDO, 2011a; 2011b; 2013).

No caso das medidas viáveis sob o ponto de vista econômico e menos complexas, como é o caso da melhoria no isolamento de tubulações em caldeiras a gás e a óleo, também é necessária a disponibilização de capital para instalação das tecnologias. Ademais, e em linha com DECC (2015), essas medidas demandam menores prazos de retorno de capital, aspecto que frequentemente impede a sua adoção.

No nível institucional e regulatório, a obtenção de crédito para o financiamento das atividades de baixo carbono está condicionada a uma série de exigências burocráticas, dentre as quais se destaca a elaboração de projetos para o acesso a linhas de crédito de programas governamentais. Ainda no âmbito regulatório, a inexistência de padrões de efficientização energética e/ou limites de emissões se constituem em barreiras à implementação de atividades de baixo carbono.

Em termos comportamentais e informacionais, muitos atores do setor desconhecem a relação custo-benefício das medidas que resultam em efficientização energética, como é o caso das tecnologias mapeadas no cenário BC. Mesmo diante do conhecimento dos benefícios, é comum inexistir pessoal técnico capacitado para identificar, implementar e monitorar as referidas medidas (UNIDO, 2011a; BERGH, 2012), em particular em unidades industriais de médio e pequeno porte. Esse aspecto pode resultar em sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias. Ainda, pode-se verificar, em casos restritos, a resistência a substituir equipamentos existentes que já se pagaram ou que já estão em fim de vida útil por outros mais eficientes em face do costume com a sua operação. Mais que isso, destacam-se as barreiras à mudança nos processos produtivos, que derivam de suposta complexidade operacional de novas tecnologias. Finalmente, pode-se entender que a introdução de tecnologias que aumentam a produtividade fabril pode levar ao paradoxo do aumento da lucratividade com desemprego de mão de obra, aspecto que pode implicar conflitos de natureza laboral.

No que diz respeito às barreiras tecnológicas, é possível mencionar os riscos técnicos e operacionais das medidas de eficiência energética (BERGH, 2012), ou seja, riscos associados a uma nova tecnologia que demanda tempo de aprendizagem dos que a utilizam para que estes não operem sobre ou subdimensionados. Além disso, não necessariamente, é possível a incorporação de novas tecnologias nos processos produtivos do setor, visto que o *layout* do processo pode não permitir a adaptação das novas tecnologias à configuração das plantas industriais existentes (ZILAHY, 2004). Finalmente, a falta de conteúdo local das tecnologias de baixo carbono pode constituir barreira a sua adoção. A importação de tecnologias, como é o caso das medidas inovadoras avaliadas no cenário BC+I, pode retardar ou impedir sua introdução, inviabilizando ganhos em termos de produtividade e economia de energia (CURRÁS, 2010).

Ainda no que se refere às tecnologias inovadoras, existem barreiras referentes à adequação a padrões, normas e regulamentações e ao alto custo em pesquisa e desenvolvimento, visando à

implantação de um produto ou serviço inovador (BELTRAME et al., 2013). Outra barreira à inovação é o tempo médio de análise para concessão de patentes pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial (Inpi), que, na maioria dos casos, varia de 7 a 11 anos, enquanto em países da União Europeia, assim como na China, na Coreia do Sul, nos EUA e no Japão o período médio é inferior a 3 anos (LICKS, 2017).

No tocante aos cobenefícios relacionados à implementação das atividades de baixo carbono mapeadas neste estudo, podem ser destacados os efeitos diretos associados à redução no consumo de energia, *vis-à-vis* emissão de poluentes, quais sejam:

- Redução nos custos variáveis associados ao consumo de energia;
- Melhoria na conversão de energia em serviços energéticos;
- Promoção ao uso de fontes menos energointensivas de energia;
- Utilização eficiente dos recursos naturais;
- Geração de emprego e renda por meio do aumento da competitividade dos polos de produção e associadas à fase de implementação das tecnologias de baixo carbono; entre outros.

4.2 SÍNTESE DAS EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS E NACIONAIS COM POLÍTICAS DE BAIXO CARBONO

De acordo com o World Energy Council (2013), vários programas e medidas foram implementados em todo o mundo como parte de um esforço para reduzir emissões de GEE por meio da eficiência energética no setor industrial. Como esse setor abrange ampla variedade de subsetores, com diferentes perfis de consumo de energia, políticas destinadas a melhorar a eficiência energética na indústria são projetadas para permitir flexibilidade. Nesse contexto, todas as indústrias estão sujeitas à competição internacional, logo, a implementação de políticas nesse setor deve levar isso em conta, evitando a implementação de medidas muito restritivas e rigorosas que poderiam deixar a indústria menos competitiva.

Dentre os instrumentos típicos de políticas, destacam-se subsídios para auditorias energéticas nas indústrias como forma de ajudar a identificar investimentos rentáveis, disponibilidade de crédito em condições favoráveis e subvenções para reduzir o tempo de retorno desses investimentos e torná-los mais atraentes para consumidores industriais. Ações potenciais incluem ainda incentivos e informação acerca da importância relacionada à modernização de equipamentos e processos, como criação de selos de eficiência industrial, programas de depreciação obrigatória de fornos de geração de calor e vapor e definição de *benchmark* para novas plantas industriais.

Na Figura 16, nota-se a participação, por países selecionados, dos instrumentos de política pública implementados para promover atividades de baixo carbono. Deve-se destacar que, percentualmente, o Brasil é o país que mais políticas relacionadas com informação e educação tem, enquanto na China predominam os instrumentos regulatórios.

Vê-se que o Brasil conta com poucos instrumentos regulatórios e econômicos, quando comparado a outros países. Conforme se pôde verificar na análise de barreiras à adoção das MTD, é necessário

avançar na proposição de instrumentos econômico-financeiros e regulatórios para viabilizar a transição dessas atividades para uma economia de baixo carbono.

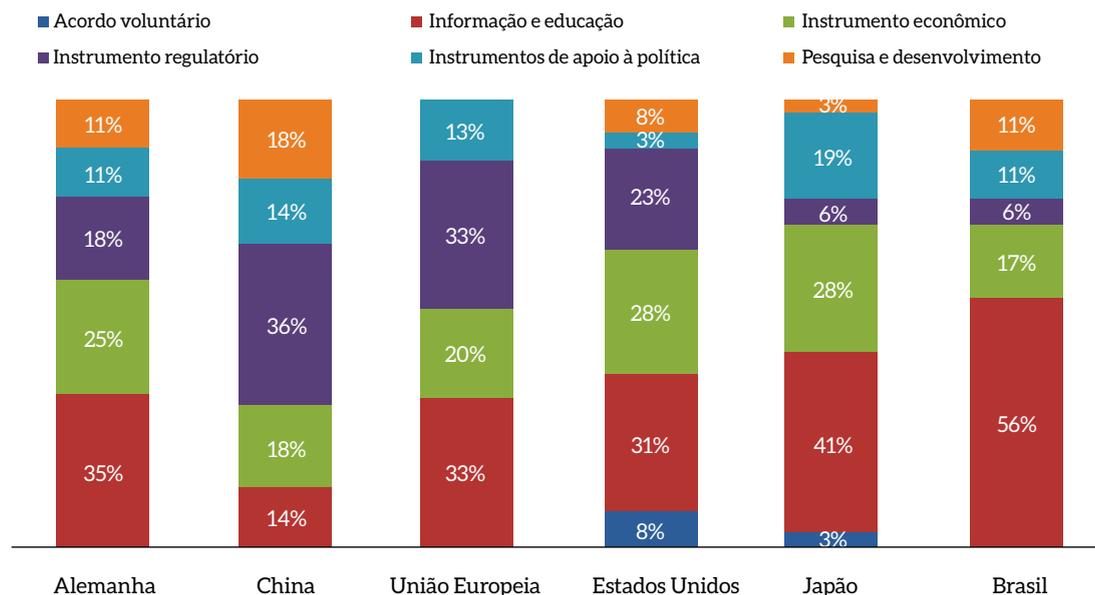


Figura 16 – Instrumentos Utilizados por Países para Promover a Eficiência Energética na Indústria

Fonte: Elaborado a partir de WORLD ENERGY COUNCIL, 2013

A partir de pesquisa bibliográfica em documentos internacionais como World Energy Council (2013) e International Energy Agency (2015), tornou-se possível a identificação de políticas públicas criadas para remover as barreiras apresentadas. Entre os mecanismos utilizados, encontram-se incentivos fiscais, disponibilização de financiamentos e fundos para investimento em tecnologias de eficiência energética, exigência do monitoramento relativo às emissões de CO₂, iniciativas de pesquisa com forte ênfase na eficiência energética, desenvolvimento de sistemas para fornecer aos consumidores informações relacionadas à eficiência energética, como certificação de produtos, taxaço de carbono e créditos de carbono.

Em âmbito nacional, considerando o propósito deste estudo, têm destaque o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e o Plano Indústria. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, o objetivo geral do PNMC é identificar, planejar e coordenar as ações e medidas que possam ser empreendidas para mitigar as emissões de GEE geradas no Brasil, bem como aquelas necessárias à adaptação da sociedade aos impactos que ocorram devido à mudança do clima (MMA, 2010).

As medidas mitigadoras, bem como as medidas de adaptação e o desenvolvimento de pesquisas, visam ao alcance dos principais objetivos específicos mencionados a seguir:

- Fomentar aumentos de eficiência no desempenho dos setores da economia na busca constante do alcance das melhores práticas;
- Manter elevada a participação de energia renovável na matriz elétrica, preservando a posição de destaque que o Brasil sempre ocupou no cenário internacional;

- Fomentar o aumento sustentável da participação de biocombustíveis na matriz de transportes nacional e atuar com vistas à estruturação de um mercado internacional de biocombustíveis sustentáveis;
- Buscar a redução sustentada das taxas de desmatamento, em sua média quadrienal, em todos os biomas brasileiros, até que se atinja o desmatamento ilegal zero;
- Eliminar a perda líquida da área de cobertura florestal no Brasil, até 2015;
- Fortalecer ações intersetoriais voltadas para redução das vulnerabilidades das populações;
- Identificar os impactos ambientais decorrentes da mudança do clima e fomentar o desenvolvimento de pesquisas científicas para que se possa traçar uma estratégia que minimize os custos socioeconômicos de adaptação do país.

Visando à implementação do PNMC, foram formulados nove planos setoriais de mitigação e adaptação, dentre os quais o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação, comumente chamado de Plano Indústria (FGV, 2015).

O objetivo desse plano é preparar a indústria nacional para um cenário futuro em que a intensidade de emissão de carbono por unidade de produto seja tão importante quanto a produtividade de trabalho e os demais fatores que definem a competitividade internacional da economia. Para tanto, estabelece metas de redução de emissões de processos industriais e de uso de energia em relação a um cenário tendencial projetado para 2020.

O plano é sustentado por três pilares de ação: implantação de sistema de monitoramento, relato e verificação (MRV) das emissões de GEE da atividade industrial, implantação de medidas e instrumentos de incentivos à redução de emissões, criação de Comissão Técnica do Plano Indústria (CTPIIn), composta por representantes do governo, sociedade civil, meio acadêmico, com responsabilidade de detalhar, monitorar e revisar ações do plano (FGV, 2015).

O Plano Indústria focou inicialmente ações setoriais da indústria de alumínio, cimento, papel e celulose e química, seguida pela indústria de ferro e aço, cal e vidro, em 2013, e com a incorporação progressiva de todos os demais setores da indústria de transformação até 2020.

Como estratégia, para viabilização das ações planejadas, o plano está dividido em cinco eixos de atuação:

– Ações Eixo 1: Gestão de carbono

- Tornar obrigatória a realização anual de inventários corporativos de emissões a partir de 2013 para grandes empresas do setor de alumínio, cimento, papel e celulose e química; a partir de 2014, para grandes empresas do setor de siderurgia, cal e vidro; e, a partir de 2020, os demais setores, incluindo o setor de papel e celulose, segundo critérios definidos pela CTPIIn;
- Criar condições para que pequenas e médias empresas possam realizar inventários simplificados;
- Criar um banco de dados de fatores de emissão;
- Capacitar técnicos para a coleta de dados de emissão das plantas;
- Criar o Sistema de Informações sobre Emissões de GEE na Indústria (Sincarbo);

- Realizar estudos de cenários de emissões para cada setor;
- Estabelecer requisitos de eficiência de emissões para a concessão de financiamentos de agentes públicos, incentivos positivos e tratamento diferenciado para empresas com baixo índice de emissão de GEE;
- Definir incentivos para produção com menor intensidade de GEE, como mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas, financiamento diferenciado, incentivos fiscais, capacitação técnica e outros instrumentos de apoio;
- Influenciar e estimular a formulação de políticas de apoio às pequenas empresas que fomentem ações eficientes de mitigação de emissões de GEE;
- Criar incentivos à realização de estudos e pesquisas para a fundamentação de *benchmarks* para os setores que ainda não disponham de estudos dessa natureza;
- Criar incentivos para a elaboração de estudos específicos, visando à adoção de tecnologias menos intensivas em carbono, substituição de combustíveis e eficiência energética.

– Ações Eixo 2: Reciclagem e aproveitamento de coprodutos

- Avaliar as barreiras regulatórias ao processamento de resíduos sólidos industriais e urbanos e propor alterações no marco regulatório;
- Estabelecer tratamento tributário diferenciado para matéria-prima reciclada e renovável;
- Organizar bolsas de resíduos, propiciando que as indústrias possam oferecer ou procurar resíduos que substituam matérias-primas, com menor custo.

– Ações Eixo 3: Eficiência energética e cogeração

- Criar selo de eficiência energética para bens de capital;
- Estabelecer linhas de crédito diferenciadas para equipamentos que ampliem a eficiência em termos de emissões de GEE das plantas industriais ou que promovam a redução de emissões líquidas em projetos de substituição de energia fóssil por renovável;
- Impulsionar as ações do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) voltadas para o setor industrial.

– Ações Eixo 4: Iniciativas voluntárias

- Realizar levantamentos setoriais de oportunidades de mitigação mediante projetos de redução de emissão (MDL);
- Promover parcerias público-privadas para a realização de projetos de MDL nos setores industriais;
- Criar Programa Voluntário de Redução de Emissões (PPB verde);
- Elaborar guia de identificação de medidas de adaptação para empresas.

– Ações Eixo 5: Tecnologias sustentáveis

- Criar banco de dados de tecnologias sustentáveis;
- Criar sistema expresso (*fast-track*) para concessão de patentes de tecnologias sustentáveis;
- Facilitar a transferência de tecnologias sustentáveis.

4.3 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA ADOÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO

Para remover barreiras econômicas e de mercado, tendo em vista que a disponibilização de crédito e subvenção econômica é suscetível e associada às políticas fiscal e monetária e que a adoção de tecnologias de baixo carbono requer fluxos significativos e constantes de crédito para a realização de investimentos, é preciso ampliar a estrutura de captação de recursos por bancos públicos de fomento. Para tanto, os organismos gestores do Fundo Clima, e/ou aqueles que vierem a ser criados, visando ao cumprimento da NDC, deveriam procurar recursos junto ao Green Climate Fund (GCF), ao Global Environmental Facility (GEF) e ao Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), entre outros. Mais que isso, os portfólios de crédito das instituições financeiras devem ser diversificados para pequenas, médias e grandes empresas, visando estabelecer igualdade na aquisição de financiamentos. No particular das pequenas empresas, que enfrentarem dificuldade de mão de obra qualificada para adoção de tecnologias de baixo carbono, também cabe o acesso a recursos de assistência técnica do Climate Technology Centre Network (CTCN).

A linha de financiamento do Finem – Eficiência Energética do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), com recursos do Fundo Clima e demais fontes de alavancagem mencionadas, poderia custear, com taxas subsidiadas de juros, a aquisição de equipamentos de baixo carbono. Em virtude do patamar de recursos necessário para adoção das medidas, poderia ser criada, pelo BNDES, a linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria”, com portfólios subdivididos por porte de empresa. E, finalmente, a partir de 2025, a precificação de carbono poderia servir de incentivo à viabilização de tecnologias de ruptura. Nesse caso, optando-se pela taxaço de carbono enquanto instrumento de internalização do preço de carbono na economia, seria desejável a reciclagem de parte dos recursos para incentivo de P&D.

A adoção dessas medidas exigiria a mobilização de atores do BNDES, bancos comerciais, Ministério da Fazenda (MF), Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), e sua implementação, com exceção da precificação de carbono, poderia ocorrer a partir de 2020, estando condicionada a estudos de impactos orçamentários pelo governo no curto prazo (2018 a 2020).

Finalmente, para remover a barreira relacionada à associação do custo das tecnologias inovadoras de baixo carbono à volatilidade cambial, poderia ser implementado um instrumento econômico com vistas a desonerar impostos das importações de tecnologias-chave para a mitigação de emissões de GEE. Para tornar o instrumento eficiente, o MF poderia prever, com atribuições para o MDIC, que a desoneração fosse acompanhada de contrapartidas tecnológicas e sociais, quais sejam o estabelecimento de metas de eficientização energética e a manutenção dos níveis de emprego por um período mínimo de dois anos após o recebimento do benefício fiscal. O MDIC seria o agente responsável pelo monitoramento do cumprimento das metas, com auxílio da CNI e Abia. O instrumento seria implementado a partir de 2020 e seria condicionado a estudo de curto prazo sobre o impacto orçamentário decorrente da sua adoção.

Um instrumento que promoveria, transversalmente, a adoção de atividades de baixo carbono no setor seria sua inclusão no Plano Indústria, ou aquele que vier a sucedê-lo, tendo em vista a estratégia

de implementação da NDC brasileira. Seria uma medida simples, a qual poderia ser implementada no curto prazo pelo MDIC.

No âmbito da concessão de crédito, é preciso minimizar custos de transação decorrentes da burocracia exigida pelas instituições financeiras, que solicitam documentos e projetos que podem afastar o interessado pela aplicação de uma atividade de baixo carbono. Para tanto, poder-se-ia propor a desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que visam mitigar emissões de GEE e que estejam correlacionadas a atividades-chave mapeadas no âmbito deste estudo. Todavia, os procedimentos burocráticos visam proteger o setor financeiro do risco de inadimplência, motivo pelo qual a desburocratização deve respeitar limites mínimos de análise de crédito.

Uma maneira de gerar reciprocidade na concessão de crédito seria a exigência de contrapartidas para contratação por meio da linha “Finem – Eficiência Energética na Indústria”, como realização de auditorias energéticas, apresentação de inventários corporativos para médias e grandes empresas e cumprimento de metas de eficiência energética e/ou emissões de GEE. Tais instrumentos poderiam ser implementados em parceria entre o MMA, MF e MDIC, com horizonte de implementação de médio prazo.

Ainda no âmbito regulatório, é necessário estabelecer padrões máximos (metas) de emissões por unidades industriais e/ou combustíveis. A verificação das emissões poderia ocorrer junto ao Sistema de Registro Nacional de Emissões (Sirene), que utilizaria informações relativas aos potenciais de mitigação mapeados neste estudo. Assim, seria possível acompanhar, anualmente, o nível de implementação das tecnologias de mitigação propostas no cenário BC.

Os instrumentos regulatórios anteriormente mencionados poderiam ser pré-requisito para obtenção de um selo que seria criado, visando incentivar a adoção de medidas mitigadoras de emissão no setor. No caso, propõe-se criar o “Selo de Eficiência Energética Industrial”, que seria critério para acesso a condições privilegiadas de crédito junto a bancos públicos de fomento. Mais que isso, seria exigido para participação de empresas do setor nos processos licitatórios. Tais instrumentos poderiam ser aplicados a partir de 2020 e seriam liderados pelo MDIC, MMA, MME e bancos públicos de fomento.

No caso das tecnologias inovadoras, é extremamente importante diminuir o tempo de análise para a concessão de patentes. Para tanto, seria fundamental a ampliação do quadro de pessoal técnico no Inpi, assim como a disseminação e o aperfeiçoamento do e-Patentes, sistema que permite o depósito eletrônico de patentes. Trata-se de instrumentos que poderiam ser implementados a partir de 2020 e exigiriam a mobilização do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MP), MDIC e Inpi.

Para a superação das barreiras comportamentais e informacionais, os instrumentos de política pública devem buscar a minimização da resistência existente à entrada de novas tecnologias. Em particular, a barreira associada à falta de informação dos benefícios das ações de eficiência energética poderia ser superada por meio da realização de ações de sensibilização, informação e capacitação. O monitoramento de emissões de GEE também seria necessário, o que permitiria verificar, por exemplo, se os pré-requisitos exigíveis para obtenção de financiamento estão sendo cumpridos. O presente projeto, no qual este estudo está inserido, desenvolveu uma série de atividades com esse propósito, as quais poderiam ser ampliadas ao setor por meio do estabelecimento de acordo de cooperação técnica entre MDIC, MCTIC, Abia, CNI e Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

Um parceiro adicional relevante, em particular no que se refere à superação de barreiras comportamentais e culturais, seria o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae). Além da expertise na realização de atividades de sensibilização e capacitação, a inserção nas micro e pequenas empresas facilitaria a execução de ações nesse sentido. Todas as atividades mencionadas poderiam ser implementadas a partir de 2018.

A aplicação de instrumentos de políticas públicas destinados a remover barreiras tecnológicas, em particular, deve estar voltada para acelerar a penetração de tecnologias de baixo carbono ainda não maduras no mercado. Nesse sentido, destacam-se as medidas mapeadas para o cenário BC+I, e é reforçado o papel do MDIC e do MCTIC como agentes indutores da inovação. Nesse caso, deve ser fomentada a P&D voltada para tecnologias de ruptura, sendo o lançamento de editais para o financiamento de projetos específicos de baixo carbono, junto à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), um instrumento relevante para o setor de alimentos e bebidas. Ademais, a oferta de estudos conjunturais, estratégicos e tecnológicos para diferentes setores da indústria, destinada ao desenvolvimento sustentável do setor, pela ABDI, deve ser incentivada. Tais instrumentos poderiam ser implementados a partir de 2020.

Para superar a barreira relativa à especificidade das plantas industriais, que muitas vezes limita a adoção de tecnologias de baixo carbono, poderiam ser elaborados estudos detalhados da aplicabilidade das atividades mapeadas pelo projeto para as plantas têxteis existentes no Brasil. Esses projetos indicariam o que poderia ser feito em termos de engenharia de processos para adaptar as plantas às referidas tecnologias, em termos de reformas de unidades de equipamentos (*revamp*), assim como elaboração de projetos de novas unidades industriais. Para tanto, deveriam ser acessadas linhas de financiamento específicas junto à Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), e as propostas deveriam permitir o estabelecimento de parcerias público-privadas, devendo ABDI e Abia servir de suporte para elaboração das propostas e acompanhar, em conjunto com a Embrapii, a implementação dos projetos.

A seguir, no Quadro 6, encontra-se a consolidação da proposta de instrumentos que deveriam ser aprimorados e/ou implementados com vistas a remover as barreiras associadas à transição do setor para uma economia de baixo carbono. É importante destacar que esses mecanismos são complementares e mutuamente dependentes, o que leva à conclusão de que seu sucesso depende da mobilização de inúmeros atores públicos e privados.

Quadro 6 – Quadro-resumo de Medidas, Barreiras e Instrumentos de Política Pública para Adoção dos Cenários de Baixo Carbono

Medidas	Barreiras	Instrumentos
<p>Otimização do retorno do condensado em caldeiras a gás e a óleo</p> <p>Manutenção do purgador em caldeiras a óleo e a gás</p> <p>Melhoria do isolamento em caldeiras a óleo e a gás</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões; • Competição com outros investimentos; • Conjuntura econômica e setorial recessiva; • Dificuldade de acesso (assimetria), falta e alto custo de transação nas operações de financiamento; • Falta de conhecimento acerca das vantagens da efficientização energética; • Falta de pessoal capacitado para identificar, implementar e monitorar as medidas; • Inexistência de padrões de eficiência energética e/ou limites de emissões para instalações industriais; • Resistência à substituição de equipamentos; • Restrições à instalação pelo layout das plantas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Captação de recursos para investimento em ações de mitigação no GCF, GEF e BID, e CTCN para pequenas empresas; • Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria”; • Criação de um programa de depreciação obrigatória de equipamentos de geração de calor e vapor; • Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial; • Criação, por meio de parcerias público-privadas, de atividades de capacitação para médias e pequenas empresas na elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica para acesso a crédito; • Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento, relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono; • Diversificação das linhas de crédito existentes para atender pequenas, médias e grandes empresas; • Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono; • Inclusão do setor no Plano Indústria, ou naquele que vier a sucedê-lo no âmbito da NDC brasileira; • Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e elaboração de inventários de emissões como incentivo para acesso a condições diferenciadas de crédito em bancos públicos de fomento; • Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos e monitoramento de ações de eficiência energética.
<p>Recuperação do gás de combustão em caldeiras a óleo e a gás</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões; • Dificuldade de acesso a crédito para realização de investimentos em P&D; • Elevado tempo de análise para concessão de patentes; • Falta de adequação aos padrões, normas e regulamentações; • Falta de capacidade financeira para custear P&D; • Necessidade de importação perante a falta de conteúdo local das tecnologias; • Restrição à instalação pelo layout da planta; • Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Captação de recursos para investimento em ações inovadoras de mitigação no GCF, GEF e BID; • Contratação de servidores e aprimoramento do sistema e-Patentes para diminuir o tempo médio de análise de patentes pelo Inpi; • Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial; • Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento, relacionada a ações inovadoras que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono; • Desoneração de impostos de importação de tecnologias de baixo carbono; • Diversificação das linhas de crédito para atender pequenas, médias e grandes empresas; • Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de projetos de pesquisa, desenvolvimento e demonstração das tecnologias inovadoras de baixo carbono; • Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidade das tecnologias de ruptura; • Inclusão do setor no Plano Indústria, ou naquele plano que vier a sucedê-lo; • Precificação de carbono a partir de 2025, com retorno dos recursos captados mediante possibilidade de taxação para investimento em P&D de tecnologias de ruptura; • Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética.
<p>Tecnologias de ruptura mapeadas no cenário BC+I</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões; • Dificuldade de acesso a crédito para realização de investimentos em P&D; • Elevado tempo de análise para concessão de patentes; • Falta de adequação aos padrões, normas e regulamentações; • Falta de capacidade financeira para custear P&D; • Necessidade de importação perante a falta de conteúdo local das tecnologias; • Restrição à instalação pelo layout da planta; • Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Captação de recursos para investimento em ações inovadoras de mitigação no GCF, GEF e BID; • Contratação de servidores e aprimoramento do sistema e-Patentes para diminuir o tempo médio de análise de patentes pelo Inpi; • Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial; • Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento, relacionada a ações inovadoras que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono; • Desoneração de impostos de importação de tecnologias de baixo carbono; • Diversificação das linhas de crédito para atender pequenas, médias e grandes empresas; • Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de projetos de pesquisa, desenvolvimento e demonstração das tecnologias inovadoras de baixo carbono; • Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidade das tecnologias de ruptura; • Inclusão do setor no Plano Indústria, ou naquele plano que vier a sucedê-lo; • Precificação de carbono a partir de 2025, com retorno dos recursos captados mediante possibilidade de taxação para investimento em P&D de tecnologias de ruptura; • Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética.

The image features a large, solid gold-colored shape that occupies most of the frame. In the upper left, there is a smaller, white, jagged geometric shape resembling a stylized mountain range or a series of peaks. In the bottom right corner, there is a smaller, light gold-colored trapezoidal shape. The text "Considerações finais" is positioned in the lower-left area of the gold background.

Considerações
finais

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo objetivou identificar possibilidades de mitigação de emissões para o setor de alimentos e bebidas, baseadas em tecnologias testadas em ambiente operacional ou comprovadas e implantadas na indústria (cenário BC) e de ruptura (cenário BC+I). Adicionalmente, foram avaliados barreiras, cobenefícios e potenciais instrumentos de política pública capazes de viabilizar a adoção dos cenários de baixo carbono.

Considerando os resultados obtidos, nota-se que o setor apresenta relevante potencial de abatimento de emissões. O potencial nos cenários BC e BC+I, com relação ao cenário REF, em 2050, é de 16% e 22%, respectivamente. O potencial de abatimento de emissões de GEE acumulado até 2050, no cenário BC, é de aproximadamente 25 MtCO₂e, sendo as medidas mais representativas a manutenção periódica do purgador, recuperação do calor de gases de combustão e melhoria no isolamento de tubulações, todas aplicáveis em caldeiras a gás natural.

As medidas não fazem parte do cenário REF, embora sejam viáveis economicamente, o que indica a existência de barreiras a sua implementação no setor. É notório que investimentos em efficientização energética, ainda que apresentem receitas, tendam a trazer retorno financeiro mais reduzido que outros investimentos disponíveis para as empresas. Em particular, verifica-se uma competição das medidas de baixo carbono com expansão da capacidade produtiva. Isso, combinado ao fato de que muitas vezes as empresas não consideram seus custos com energia altos o suficiente para serem estratégicos, impede que tais investimentos sejam priorizados. Adicionalmente, podem ser elencadas as seguintes barreiras à adoção das medidas: i) assimetria, falta e altos custos de acesso ao crédito; ii) ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões para plantas industriais; iii) falta de conhecimento técnico para identificar, implementar e operar a medida, em particular em empresas de médio e pequeno porte.

Dadas as barreiras identificadas neste relatório, foram propostos instrumentos de política pública para superá-las. Para remover barreiras econômicas e de mercado, tendo em vista que a disponibilização de crédito e subvenção econômica é suscetível e associada às políticas fiscal e monetária e que a adoção de tecnologias de baixo carbono requer fluxos significativos e constantes de crédito para a realização de investimentos, é preciso ampliar a estrutura de captação de recursos por bancos públicos de fomento. Para tanto, os organismos gestores do Fundo Clima, e/ou aqueles que vierem a ser criados visando ao cumprimento da NDC, deveriam procurar recursos junto ao Green Climate Fund (GCF), ao Global Environmental Facility

(GEF) e ao Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), entre outros. Mais que isso, os portfólios de crédito das instituições financeiras devem ser diversificados para pequenas, médias e grandes empresas, visando estabelecer igualdade na aquisição de financiamentos. No particular das pequenas empresas, que enfrentarem dificuldade de mão de obra qualificada para adoção de tecnologias de baixo carbono, também cabe o acesso a recursos de assistência técnica do Climate Technology Centre Network (CTCN). A linha de financiamento do Finem – Eficiência Energética do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), com recursos do Fundo Clima e demais fontes de alavancagem mencionadas, poderia custear, com taxas subsidiadas de juros, a aquisição de equipamentos de baixo carbono.

Em virtude do patamar de recursos necessário para adoção das medidas, poderia ser criada, pelo BNDES, a linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”, com portfólios subdivididos por porte de empresa. E, finalmente, a partir de 2025, a precificação de carbono poderia servir de incentivo à viabilização, sobretudo, de tecnologias de ruptura.

Nesse caso, optando-se pela taxaço de carbono enquanto instrumento de internalização do preço de carbono na economia, seria desejável a reciclagem de parte dos recursos para incentivo de P&D. Para remover as demais barreiras, são propostos os seguintes instrumentos: i) inclusão do setor no Plano Indústria, ou naquele que vier a sucedê-lo; ii) desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono; iii) estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; iv) obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e apresentação de inventários de emissões para acesso a condições diferenciadas de crédito em bancos públicos de fomento; v) criação de Selo de Eficiência Energética Industrial; vi) promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética.

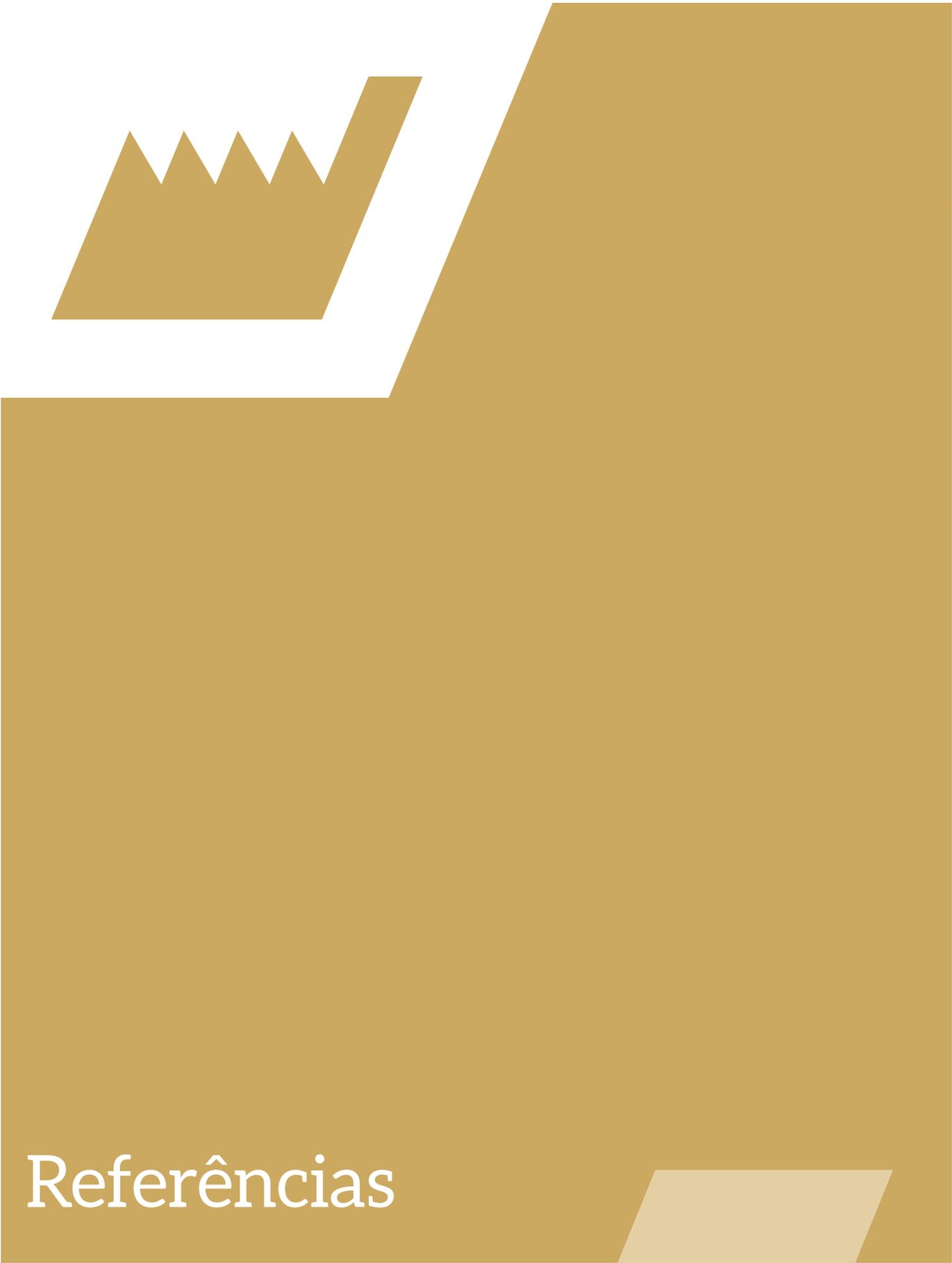
No caso das tecnologias de ruptura avaliadas no cenário BC+I, os principais entraves são: incerteza acerca da viabilidade comercial; dificuldade de acesso a crédito para investimentos em P&D; e restrição à instalação das tecnologias pelo *layout* da planta. Para aplicação das medidas, é fundamental a formulação dos seguintes instrumentos: i) desoneração de importações de componentes-chave das tecnologias inovadoras; ii) financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de projetos de PD&D das tecnologias inovadoras de baixo carbono; iii) precificação do carbono a partir de 2025; iv) financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades das tecnologias.

Apesar de os resultados obtidos serem satisfatórios, este estudo apresentou limitações. A primeira consiste na limitação de análises setoriais no que concerne à não aditividade de potenciais de abatimento. O potencial de abatimento do estudo não representa o potencial líquido de redução de emissões do setor. Este é apenas o total da redução de cada medida aplicada em relação ao cenário REF. Dessa forma, pode, e está ocorrendo, dupla contagem de redução de emissões, visto que a redução do consumo energético de duas medidas não é necessariamente igual à soma de suas contribuições individuais. Essa característica das

curvas de abatimento convencionais e setoriais mostra a necessidade de uma modelagem integrada para a eliminação da dupla contagem e para representar de forma fidedigna o potencial de mitigação do setor.

Além disso, este estudo destaca opções tecnológicas de mitigação de GEE que muitas vezes são consideradas tecnologias de ponta que podem não terem sido difundidas no Brasil. Sendo assim, questões como a aplicabilidade dessas tecnologias no cenário nacional e o custo-Brasil não foram consideradas aqui. Devido à necessidade de importação de diversas tecnologias, ou mesmo de componentes para que se inicie uma indústria local, às altas taxas de juros para a realização de financiamentos e às constantes variações cambiais, a implementação dessas tecnologias de mitigação se torna difícil. Visando contornar essas questões, procurou-se elencar as principais barreiras e propor políticas públicas que fomentem a implementação dessas tecnologias. Procurou-se destacar as MTD mundialmente para atividades de produção de alimentos e bebidas, a fim de entender como elas poderiam contribuir para a mitigação desse setor.

Outra limitação resulta das projeções econômicas consideradas na construção dos cenários. Para tratar essa questão, tendo em vista a transversalidade e a relevância das variáveis macroeconômicas para os cenários setoriais de emissões, será considerada uma segunda visão de crescimento setorial do PIB no âmbito da modelagem integrada, a qual considerará os efeitos de curto e médio prazo do recente contexto econômico nacional. Esta tem resultados que fazem parte da publicação *Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono* (MCTIC, 2017b).



Referências

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DA ALIMENTAÇÃO – ABIA (Brasil). *Números do setor*. 2014. Disponível em: <http://www.abia.org.br/vsn/tmp_6.aspx?id=16#sthash.WZjzZ91m.S6rV5mVr.dpbs>. Acesso em: 15 abr. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CAFÉ – ABIC (Brasil). *Processo produtivo*. 2014. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=207>>. Acesso em: 30 ago. 2014.

AUSTRALIAN INDUSTRY GROUP/ENVIRONMENTAL PROTECTION AUTHORITY – AIG/EPA. *Energy saving factsheet: Saving energy in the dairy processing industry*. Victoria, 2014a.

_____. *Energy saving factsheet: Saving energy in the fruit and vegetable processing industry*. Victoria, 2014b.

_____. *Saving energy in the beverage manufacturing industry*. Victoria, 2014c.

_____. *Saving energy in abattoirs and meat processing facilities*. Victoria, 2014d.

AZENHA, L. R.; TAKAEZU, K. K.; ARRUDA, N. F. Desenvolvimento do sistema APPCC na produção de bombom de chocolate ao leite com recheio de licor. 7º SIMPÓSIO DE ENSINO DE GRADUAÇÃO UNIMEP. Piracicaba, 2009.

BELTRAME, T. F. et al. Gestão da inovação e barreiras para implantação de suas práticas. XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Salvador: Brasil, 8 a 11 de outubro de 2013.

BERGH, C. *Energy efficiency in the South African crude oil refining industry: Drivers, barriers and opportunities* (MSc Sustainable Energy Engineering). University of Cape Town, South Africa. 2012. Disponível em: <http://www.crses.sun.ac.za/files/research/completed-research/other/thesis_bergh_energyefficiency.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2016.

BORBA, B. S. M. C. et al. Energy-related climate change mitigation in Brazil: Potential, abatement costs and associated policies. *Energy Policy*, v. 49, p. 460-441, 2012.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. *Ageitec* – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2014. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fok5vmke02wyiv80bhgp5pu0flzl6.html>>. Acesso em: 4 jul. 2014.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. *Balanço Energético Nacional 2017: Ano-base 2016*. Brasília: EPE, 2017.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Pesquisa Industrial Anual – Produto 2010*. 2014a. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=3463&z=-t&o=22&i=P>>. Acesso em: 22 out. 2014.

_____. *Pesquisa Industrial Anual – Produto 2012*. 2014b. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/produtos/produto2012/defaultproduto.shtm>>. Acesso em: 4 jul. 2014.

_____. *Lista de Produtos da Indústria – PRODLIST 2010*. 2014c. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/prodlist_industria/2010/>. Acesso em: 4 jul. 2014.

_____. *Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE 2.0*. Comissão Nacional de Classificação – CONCLA, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2014d. Disponível em: <http://www.cnae.ibge.gov.br/divisao.asp?coddivisao=10&CodSecao=C&TabelaBusca=CNAE_200@CNAE%202.0>. Acesso em: 15 jun. 2014.

_____. *Sistema de Contas Nacionais – Brasil, Referência 2010. Nota Metodológica nº 3: O Esquema de Classificação de Atividades e Produtos do Sistema de Contas Nacionais do Brasil – ECAP/Contas. DPE/CONAC/IBGE*, março de 2013.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI. *Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa*. Relatório de Referência: Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais e por Uso de Solventes. Brasília: MCTI, 2006.

_____. *Segundo inventário brasileiro de emissões de gases de efeito estufa*. Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais – Produtos minerais. Parte I. Produção de cimento. Brasília: MCTI, 2010.

_____. *Fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil*. 2015. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/72764.html>>. Acesso em: 5 mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC. *Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima*. Brasília: MCTIC, 2016.

_____. *Contribuição do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações para a elaboração da estratégia de implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil ao*

Acordo de Paris. 2017a. Disponível em: <http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/2098519/Subsi%CC%81dios+MCTIC+para+elaborac%CC%A7a%CC%83o+NDC_210217.pdf/c3c4bbbd-8656-4d-1c-b2fb-c9abfb44f552>. Acesso em: 18 mar. 2017.

_____. *Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono*. Brasília: MCTIC, 2017b.

_____. *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de biocombustíveis*. Brasília: MCTIC, 2017c.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima*. 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf>. Acesso em: 10 out. 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. *Balanço de Energia Útil*. Brasília: MME, 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética – MME/EPE. *Balanço Energético Nacional – base 2012*. 2013. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>>. Acesso em: 30 jun. 2014.

BROWN, Harry L.; HAMEL, Bernard B.; HEDMAN, Bruce A. *Energy analysis of 108 industrial processes*. Philadelphia: Fairmont Press, 1985.

CARVALHO, L. G. *Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro – REDETEC*. Dossiê técnico: Produção de cerveja. Rio de Janeiro, março de 2007.

CAVALCANTE NETO, A. A. *Desenvolvimento de massa alimentícia mista de farinhas de trigo e mesocarpo de babaçu (Orbignya sp.)*. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia em Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

CENTER FOR INDUSTRIAL RESEARCH AND SERVICE – CIRAS. *Energy-Related Best Practices: A sourcebook for food industry*. Iowa State University: CIRAS, 2005.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI (Brasil). *Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial: alimentos e bebidas*. Carlos Roberto Rocha, Sérgio Bajay, Filipe Debonzi Gorla. Brasília: CNI, 2010.

_____. *Eficiência energética na indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional*. Brasília: CNI, 2009.

CURRÁS, T. A. *Barriers to investment in energy saving technologies: Case study for the energy intensive chemical industry in the Netherlands (MSc Sustainable Development)*. University of Utrecht, Netherlands. 2010. Disponível em: <<ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/2010/o10022.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2010.

CRUZ, G. F. B. *Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro – REDETEC*. Dossiê técnico: Fabricação de refrigerantes. Rio de Janeiro, outubro de 2012.

DE GOUVELLO, C. *Estudo de baixo carbono para o Brasil*. Brasília: Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento, 2010. Disponível em: <http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/Relatorio_Principal_integra_Portugues.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2014.

ENGINEERINGFOODS. 2011. Disponível em: <<http://engefoods.blogspot.com.br/2011/05/fluxogramas-de-producao-de-cerveja.html>>. Acesso em: 22 out. 2014.

EVANGELISTA, J. *Tecnologia de alimentos*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2001.

FRANÇA, B. H. C. *Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro – REDETEC*. Dossiê técnico: Cultivo e processamento do tomate. Rio de Janeiro, junho de 2007.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS – FGV (Brasil). *Propostas para implementação do plano indústria de baixo carbono – Eficiência energética na indústria*. São Paulo: CES/FGV, 2015.

GRUPO VB ALIMENTOS. *Processo de produção*. 2014. Disponível em: <<http://www.grupovb.com.br/processo-de-producao>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

GUERREIRO, L. *Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro – REDETEC*. Dossiê técnico: Massas alimentícias. Rio de Janeiro, setembro de 2006.

HADDAD, E. *Projeções macrossetoriais para o Brasil: 2010-2050*. Projeto Opções de Mitigação de Emissões de GEE em Setores-Chave do Brasil. Subprojeto econômico. Coordenação: Eduardo Haddad. São Paulo: Fipe, 2015. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/full/354029/Opcoes_de_Mitigacao_de_Emissoes_de_Gases_de_Efeito_Estufa_GEE_em_Setores_Chave_do_Brasil.html%20=#lista>. Acesso em: 18 jul. 2017.

HALSNAES, K. et al. *Economics of greenhouse gas limitations – Methodological guidelines*. Roskilde, Denmark: UNEP Collaborating Centre on Energy and Environmental/Risø National Laboratory, 1998.

HENRIQUES JR., M. F. *Potencial de redução de emissão de gases de efeito estufa pelo uso de energia no setor industrial brasileiro*. 2010. 340 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Coppe/PPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Guidelines for national greenhouse gas inventories*. Genebra: IPCC, 2006.

_____. *Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Genebra: IPCC, 2007.

INTEGRATED POLLUTION PREVENTION AND CONTROL – IPPC. *Reference document on best available techniques for energy efficiency*. Brussels: European Commission, fevereiro de 2009.

_____. *Reference document on best available techniques in the food, drink and milk industries*. Brussels: European Commission, agosto de 2006.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Policies and measures database – Energy efficiency*. 2015. Disponível em: <<http://www.iea.org/policiesandmeasures/energyefficiency/>>. Acesso em: 26 out. 2016

ITAMBÉ. *Creme de leite UHT – fabricação*. 2014b. Disponível em: <<http://www.itambe.com/Cmi/Download.aspx?574>>. Acesso em: 4 ago. 2014.

_____. *Leite condensado – fabricação*. 2014a. Disponível em: <<http://www.itambe.com/Cmi/Download.aspx?578>>. Acesso em: 4 ago. 2014.

_____. *Manteiga*. 2014c. Disponível em: <<https://www.itambe.com.br/portal/produtos/produtos/manteiga>>. Acesso em: 4 ago. 2014

LA ROVERE, E. L. et al. *Implicações econômicas e sociais de cenários de mitigação de gases de efeito estufa no Brasil até 2030*: Sumário Técnico/Projeto IES-Brasil, Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2016.

LAITNER, J. A.; BROWN, M. A. *Emerging Industrial Innovations to Create New Energy Efficient Technologies*. 2005. CEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry.

LARA, M. A. M. *Processo de produção de ração: moagem, mistura e peletização*. 2010. Disponível em: <<http://www.nftalliance.com.br/assets/Uploads/Artigo-Unifrango-2.pdf>>. Acesso em: 4 jan. 2015.

LICKS ADVOGADOS – LICKS. *Sugestões para o aperfeiçoamento do sistema Brasileiro de concessão de patentes de invenção*. 2017. Disponível em: <http://lickslegal.com/pdf/PPHbooklet_pt.pdf>. Acesso em: 15 maio 2017.

LINS, P. M. O. *Beneficiamento do pescado*. Belém: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, 2010.

LUNG, R. B. et al. *The Role of Emerging Technologies in Improving Energy Efficiency: Examples from the Food Processing Industry*. 2006. Proceedings of the Twenty-Eighth Industrial Energy Technology Conference, New Orleans, LA, May 9-12, 2006

MACHADO, R. L. P.; MATTA, V. M. *Preparo de compotas e doces em massa em bancos de alimentos*. Documentos 72. Rio de Janeiro: Embrapa, outubro de 2006.

MARCELINO, J. S.; MARCELINO, M. S. *Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR*. Dossiê Técnico: Fabricação de bolachas e biscoitos. Julho de 2012a.

_____. *Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR*. Dossiê técnico: Doces industrializados, balas, gomas e pirulitos. Julho de 2012b.

- MARGANHA, M. F. B. *Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos*. São Paulo: CETESB, 2006.
- MARS CENTRO DE CIÊNCIA DO CACAU – MARS. *Preparação do chocolate*. 2014. Disponível em: <<http://www.marscacau.com.br/web/sobre-o-cacau/do-cacau-ao-chocolate/preparacao-do-chocolate/>>. Acesso em: 15 ago. 2014.
- MATOS, E. H. S. F. *Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UnB*. Dossiê Técnico: Cultivo de laranja. Brasília, julho de 2007.
- MORAES, I. V. M. *Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro – REDETEC*. Dossiê técnico: Produção de polpa de fruta congelada e suco de frutas. Rio de Janeiro, outubro de 2006.
- NICOLINI, C. *Leite em pó*. 2008. 57 f. Trabalho acadêmico (Bacharelado em Química de Alimentos) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA – FAO. *Processamento e conservação do pescado*. 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab486p/AB486P07.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2014.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – UNIDO. *Barriers to industrial energy efficiency: A literature review*. Viena: Unido, 2011a.
- _____. *Policy options to overcome barriers to industrial energy efficiency in developing countries*. Viena: Unido, 2011b.
- _____. *Energy efficiency technologies and benefits. Sustainable energy regulation and policymaking for Africa*. Viena: Unido, 2013.
- PACHECO, José Wagner. *Guia técnico ambiental de frigoríficos – Industrialização de carnes (bovina e suína)*. São Paulo: CETESB, 2006.
- PRACTICAL ACTION. *Flavoured milk technical brief*. PracticalAction. Rugby, Warwickshire, fevereiro de 2006.
- RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino. *Rev. Virtual Quim.*, 5 (1), p. 2-15, 2013.
- RATHMANN, R. *Impactos da adoção de metas de redução de emissão de gases de efeito estufa sobre a competitividade de setores industriais energointensivos do Brasil*. 2012. 412 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Coppe/PPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- REVISTA CAFEICULTURA. *Como é o processamento do café solúvel*. 2014. Disponível em: <<http://www.revistacafeicultura.com.br/?tipo=ler&mat=5937>> e <http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php/envia_materia.php?mat=46757>. Acesso em: 30 ago. 2014.

ROBERT, N. F. *Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro – REDETEC*. Dossiê técnico: Fabricação de iogurtes. Rio de Janeiro, julho de 2008.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL – SENAR (Brasil). *Iogurte, bebidas lácteas e doce de leite: produção de derivados do leite*. 2. ed. Brasília: SENAR, 2010.

SINGH, R. Paul. *Energy in food processing*. New York: Elsevier, 1986.

SOUZA, J. C. B. et al. *Sorvete: Composição, processamento e viabilidade da adição de probiótico*. *Alim. Nutr.*, Araraquara, v. 21, n. 1, p. 155-165, Jan./Mar. 2010.

TREMARIN. *Material didático da disciplina EQA5217 – Indústria de carnes, pescados e derivados*. 2006. Disponível em: <<http://www.enq.ufsc.br/disci/eqa5217/material.htm>>. Acesso em: 4 jul. 2014.

UK. Department of Energy and Climate Change and Department for Business, Innovation and Skills – DECC. *Industrial decarbonisation and energy efficiency roadmaps to 2050*. London: DECC, 2015.

USA. Department of Defense – US DoD. *Technology readiness assessment (TRA) guidance*. Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering (ASD(R&E)). Washington DC: DoD, 2011.

USA. US Energy Information Administration – EIA. *Annual Energy Outlook 2015*. 2015. Disponível em: <<http://www.eia.gov/forecasts/aeo/>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

VENTURINI. K. S. et al., *Características da Carne de Frango*. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, PIE-UFES: 01307, 2007.

WANG, L. *Energy efficiency and management in food processing facilities*. Boca Raton, USA: Taylor and Francis, 2009.

WORLD BANK. *Overview Brazil*. 2016. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/en/country/brazil/overview>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

WORLD ENERGY CONCIL. *World energy perspective: Energy efficiency policies: what works and what does not*. Londres: World Energy Concil, 2013.

ZANOLA, M. *Processamento do leite UHT*. 2009. 38 f. Monografia (Pós-graduação em Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal) – Instituto Qualitas de Pós-Graduação, Campinas, 2009.

ZILAHY, G. Organisational factors determining the implementation of cleaner production measures in the corporate sector. *Journal of Cleaner Production*, v. 12, n. 4. p. 311, 2004.



MINISTÉRIO DA
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**

