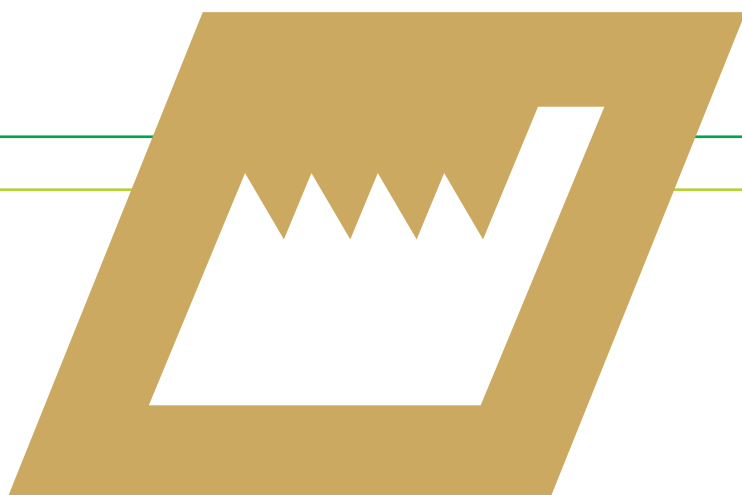




*Opções de Mitigação de Emissões
de Gases de Efeito Estufa em
Setores-Chave do Brasil*



MODELAGEM SETORIAL DE OPÇÕES DE BAIXO CARBONO PARA O SETOR DE OUTRAS INDÚSTRIAS

RÉGIS RATHMANN
(ORGANIZADOR)

MODELAGEM SETORIAL DE OPÇÕES DE BAIXO CARBONO PARA O SETOR DE OUTRAS INDÚSTRIAS

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

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

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

ISBN: 978-85-88063-41-9

1. Mudanças Climáticas. 2. Emissão de gases. 3. Indústrias. 4. 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

AUTORES

David Alves Castelo Branco

Régis Rathmann

Revisão

Anna Cristina de Araújo Rodrigues

Projeto Gráfico

Capitular Design Editorial

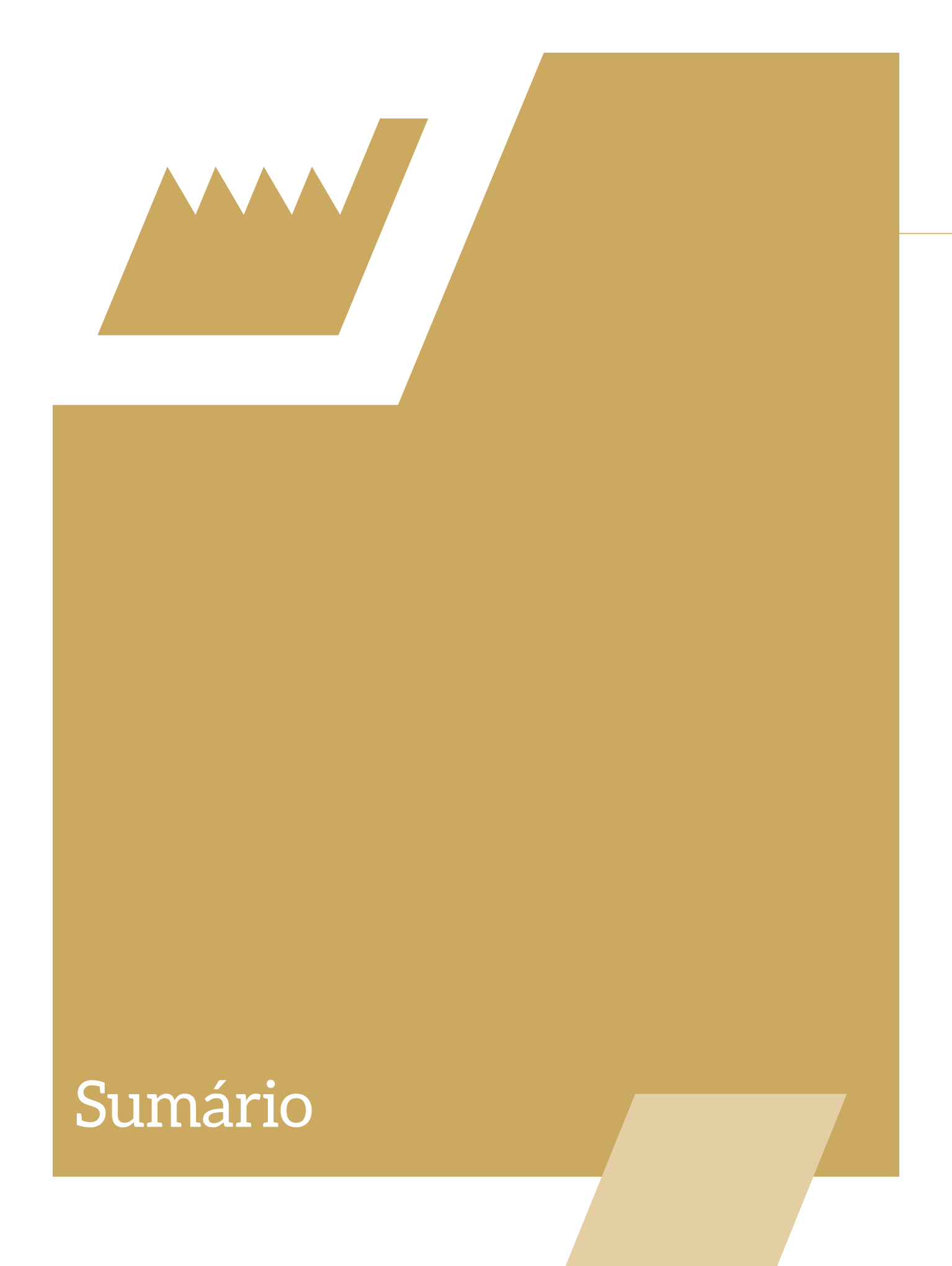
Editoração

Phábrica de Produções: Alecsander Coelho e

Paulo Ciola (direção de arte); Ércio Ribeiro, Icaro

Bockmann, Kauê Rodrigues, Marcelo Macedo e

Rodrigo Alves (diagramação)

The background features abstract geometric shapes in gold and tan. A large gold L-shaped block covers the left and top portions. A smaller gold shape with a sawtooth top is in the upper left. A tan parallelogram is in the bottom right.

Sumário

INTRODUÇÃO	16
1 CARACTERIZAÇÃO SETORIAL	20
1.1 INFORMAÇÕES GERAIS DOS SETORES DE CAL, GESSO E VIDRO	21
1.2 PROCESSOS PRODUTIVOS DOS SEGMENTOS DE CAL, GESSO E VIDRO	24
1.3 CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE GEE.....	28
2 MELHORES TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA A EFICIENTIZAÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS NO SETOR DE OUTRAS INDÚSTRIAS	32
2.1 FORNOS REGENERATIVOS.....	33
2.2 RECUPERAÇÃO DE CALOR E GERAÇÃO DE ELETRICIDADE.....	34
2.3 OXICOMBUSTÃO.....	35
2.4 FUSÃO ELÉTRICA	35
2.5 PREAQUECIMENTO DO CACO OU COMPOSIÇÃO.....	36
2.6 UTILIZAÇÃO DE CACO DE VIDRO COMO MATÉRIA-PRIMA	36

2.7 SUBSTITUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS NA PRODUÇÃO DE CAL.....	37
3 CENÁRIOS DE REFERÊNCIA E BAIXO CARBONO	38
3.1 CENÁRIO REF.....	39
3.1.1 Premissas	39
3.1.2 Consumo de energia e emissões de GEE	41
3.2 CENÁRIO BC	43
3.2.1 Premissas.....	43
3.2.2 Consumo de energia e emissões de GEE.....	45
3.2.3 Custos marginais de abatimento de emissões de GEE.....	48
4 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA APLICÁVEIS AO SETOR OUTRAS INDÚSTRIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DO CENÁRIO DE BAIXO CARBONO	54
4.1 IDENTIFICAÇÃO DE BARREIRAS E COBENEFÍCIOS À IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE BAIXO CARBONO NO SETOR	56
4.2 SÍNTESE DE EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS E NACIONAIS COM POLÍTICAS PÚBLICAS DE BAIXO CARBONO	58
4.3 INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA ADOÇÃO DO CENÁRIO DE BAIXO CARBONO DO SETOR DE OUTRAS INDÚSTRIAS.....	62
4.3.1 Instrumentos econômicos e de mercado.....	62
4.3.2 Instrumentos regulatórios e institucionais.....	63
4.3.3 Instrumentos comportamentais e informacionais	64
4.3.4 Instrumentos tecnológicos	64
4.3.5 Síntese dos instrumentos de política pública propostos	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS.....	74

The background features a large, solid gold shape that resembles a stylized letter 'L' or a corner. In the upper left, there is a smaller gold shape with a jagged, sawtooth-like top edge. At the bottom right, a light beige parallelogram is partially visible, overlapping the main gold shape.

Listas de tabelas,
figuras, quadros e
siglas e acrônimos

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção por Tipo de Vidro em 2012.....	22
Tabela 2 – Consumo de Energéticos no Setor de Outras Indústrias entre 2005 e 2014 (mil tep).....	29
Tabela 3 – Participação Relativa dos Energéticos Utilizados no Setor de Outras Indústrias entre 2005 e 2014 (%).....	29
Tabela 4 – Consumos Específicos Totais de Energia dos Setores de Cal, Gesso e Vidro	30
Tabela 5 – Emissões de GEE do Setor de Outras Indústrias em 2010.....	31
Tabela 6 – Taxas de Crescimento Médio Anual do PIB no Período de 2010 a 2050	40
Tabela 7 – Fatores de Emissão de CO ₂	40
Tabela 8 – Fatores de Emissão de CO ₂ do SIN.....	41
Tabela 9 – Consumo Energético por Fontes entre 2010 e 2050	42
Tabela 10 – Emissões de GEE entre 2010 e 2050.....	43
Tabela 11 – Participação por Fontes de Energia nas Emissões Totais de GEE entre 2010 e 2050.....	43
Tabela 12 – Potenciais Anuais Brutos de Mitigação de Emissões de CO ₂	44
Tabela 13 – Potenciais Anuais Líquidos de Mitigação de Emissões de CO ₂	45
Tabela 14 – Consumo Energético por Fontes entre 2010 e 2050	46
Tabela 15 – Variação na Participação por Fontes no Consumo de Energia do Cenário BC em relação ao Cenário REF.....	46

Tabela 16 – Emissões de GEE entre 2010 e 2050	47
Tabela 17 – Variação na Participação das Emissões por Fontes de Energia do Cenário BC em relação ao Cenário REF	48
Tabela 18 – Parâmetros de Custo, Vida Útil e Reposição das MTD	50
Tabela 19 – Preços dos Combustíveis	51
Tabela 20 – Potenciais e Custos Marginais de Abatimento	51
Tabela 21 – Potenciais e Custos Marginais de Abatimento	52
Tabela 22 – Potenciais e Custos de Abatimento de Emissões	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção por Tipo de Vidro entre 2005 e 2030.....	23
Figura 2 – Fluxograma do Processo Produtivo da Cal.....	25
Figura 3 – Fluxograma do Processo Produtivo do Gesso.....	26
Figura 4 – Etapas do Processo Produtivo da Indústria Vidreira	27
Figura 5 – Consumo Energético no Cenário de Referência por Fontes (mil tep)	42
Figura 6 – Consumo Total de Energia e Variação entre os Cenários BC e REF	47
Figura 7 – Emissões Totais por Fontes de Energia e Variação entre os Cenários BC e REF	48
Figura 8 – Curva de Custos Marginais de Abatimento	52
Figura 9 – Instrumentos Utilizados por Países para Promover a Eficiência Energética na Indústria	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quadro-resumo de Medidas, Barreiras e Instrumentos de Política Pública para Adoção das MTD	65
--	----

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABDI – Agência Nacional de Desenvolvimento Industrial
ABIVIDRO – Associação Brasileira da Indústria do Vidro
ABPC – Associação Brasileira dos Produtores de Cal
BACEN – Banco Central do Brasil
BEN – Balanço Energético Nacional
BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAL – Custo anual líquido
CAPEX – Custo de capital
CENÁRIO BC – Cenário de baixo carbono
CENÁRIO REF – Cenário de referência
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CMA – Custo marginal de abatimento
CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNI – Confederação Nacional da Indústria
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COP – Conferência das Partes
CTCN – Climate Technology Centre Network
CTPIn – Comissão Técnica do Plano Indústria
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
FGV – Fundação Getúlio Vargas
FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos
GCF – Green Climate Fund
GEE – Gás de efeito estufa
GEF – Global Environment Facility

GLP – Gás liquefeito de petróleo
HCl – Ácido clorídrico
HFC – Hidrofluorcarboneto
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA – International Energy Agency
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MDL – Mecanismo de desenvolvimento limpo
MF – Ministério da Fazenda
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MME – Ministério de Minas e Energia
MRV – Monitoramento, relato e verificação
MTD – Melhores tecnologias disponíveis
O&M – Operação e manutenção
PFC – Perfluorcarbono
PIB – Produto interno bruto
PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética
PNMC – Plano Nacional sobre Mudança do Clima
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPB – Programa Voluntário de Redução de Emissões
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SIN – Sistema Interligado Nacional
SINCARBO – Sistema de Informações sobre Emissões de GEE na Indústria

SINDUSGESSO – Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco

UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

UNIDO – Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial

The background features a large, solid gold shape on the left and bottom, and a large, solid tan shape on the right. A smaller, jagged gold shape is positioned in the upper left. A thin horizontal line is visible on the right side. A light tan parallelogram is located at the bottom right.

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 CO₂ 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 (MCTI, 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, consoante análise realizada por Henriques Jr. (2010), se excluída a parcela das mudanças no uso da terra e considerando emissões relacionadas com o consumo de energia no setor industrial, este passaria a ser responsável por quase 1/3 das emissões totais. De acordo com o

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 (MCTI, 2016).

autor, isso significa que, se o Brasil conseguir coibir e eliminar as emissões pela parte do uso do solo e florestas, considerando que no setor de transporte – que faz parte do setor de energia (MCTI, 2016) –, outro importante setor emissor, já se empregam volumes significativos de combustíveis renováveis (principalmente de etanol), o setor industrial passaria a representar segmento de extrema importância no sentido de mitigar as emissões de GEE.

No que diz respeito às emissões do setor de outras indústrias, as principais fontes emissoras de GEE são as reações que compõem os processos industriais, o consumo de eletricidade e a queima de combustíveis, sobretudo gás natural, sendo este último a maior fonte de emissão de GEE do setor (ABDI, 2012).

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.

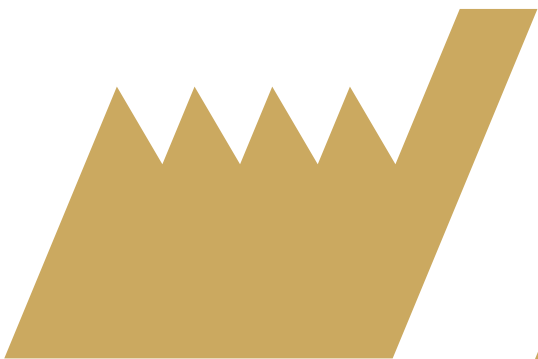
No âmbito do setor de outras indústrias, o objetivo é identificar as possibilidades de mitigação de emissões de GEE. Adicionalmente, serão avaliados barreiras, cobenefícios e potenciais efeitos adversos à adoção das atividades de baixo carbono para, partindo disso, serem propostos instrumentos de política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

Ainda que sejam projetados consumo de energia e emissões de GEE, relativos a uma linha de base (cenário referência) e a um cenário alternativo (cenário de baixo carbono) para o setor de outras indústrias, em função da intensidade de energia e carbono, serão avaliados potenciais e custos de abatimento exclusivamente dos segmentos de cal, gesso e vidro. Consequentemente, avaliação e proposição de instrumentos de política pública para adoção das tecnologias de baixo carbono serão focadas nessas atividades.

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 dos setores de cal, gesso e vidro, bem como apresentará os consumos energéticos específicos e as principais fontes emissoras de GEE dessas atividades. No capítulo 2, serão detalhadas as melhores tecnologias disponíveis (MTD) para o setor de outras indústrias, visando, direta ou indiretamente, à mitigação de emissões de GEE, com seus respectivos potenciais de abatimento de CO₂. No capítulo 3, apresentar-se-ão os cenários de referência (REF) e baixo carbono (BC) construídos para o setor. No capítulo 4, serão identificados barreiras e cobenefícios à implementação das MTD e instrumentos aplicáveis, visando à adoção do cenário BC. 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, 2017), 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 do projeto intitulado “Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono”. 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 de outras indústrias abrange uma série de atividades industriais que produzem desde matérias-primas (cal, gesso, vidro) até bens acabados (artigos de vestuário, calçados, eletrodomésticos, eletrônicos, móveis, entre outros). Segundo classificação adotada pelo Balanço Energético Nacional (BEN), consideram-se as seguintes atividades no segmento de outras indústrias:

- Artigos de vestuário e acessórios;
- Artefatos de couro e calçados;
- Produtos de madeira;
- Artigos de borracha e plásticos;
- Outros minerais não metálicos (exclusive cerâmica);
- Máquinas e equipamentos;
- Eletrodomésticos;
- Máquinas para escritório e equipamentos de informática;
- Máquinas, aparelhos e materiais elétricos;
- Material eletrônico e equipamentos de telecomunicações;
- Móveis e produtos de indústrias diversas.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2015), os segmentos de cal, gesso e vidro, que pertencem à classe de produtos minerais não metálicos, conforme a Classificação Nacional de Atividades Econômicas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (CNAE/IBGE), são representativos do consumo de energia do setor de outras indústrias, com aproximadamente 52% do total em 2012. Assim, serão considerados exclusivamente esses segmentos para fins da construção dos cenários de consumo de energia e emissões de GEE.

1.1 INFORMAÇÕES GERAIS DOS SETORES DE CAL, GESSO E VIDRO

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2014a), a produção de cal, em 2013, alcançou 8,4 milhões de toneladas. A estrutura de produção, em 2013, não foi alterada, com a cal virgem correspondendo a 76% e a cal hidratada, 24% da produção nacional. Do total de cal produzido no país, o mercado livre representa 89,5%, e o mercado cativo, 10,5%. No mercado livre, a indústria responde por 66% da cal produzida e a construção civil, 34%.

Em 2009, o Brasil tinha suas necessidades de consumo de cal supridas por mais de 200 produtores distribuídos em todo o país (MME, 2015). As principais empresas produtoras de cal no país são as mineradoras de calcário, destacando-se, dentre elas, as seguintes minerações: Mineração Belocal Ltda. (grupo Lhoist), Ical Indústria de Calcinação Ltda., Mineração Lapa Vermelha Ltda., Votorantim Cimentos SA e a Minercal – Indústria Mineradora Pagliato Ltda. (DNPM, 2014a).

As importações de semimanufaturados de rochas calcárias (cal virgem e hidratada), em 2013, somaram 19,1 mil toneladas, um aumento de 21,7% em relação a 2012, o que representa desembolso de aproximadamente US\$ 2,3 milhões. Os principais países de procedência dos semimanufaturados foram Uruguai (82%) e Argentina (12%). Por sua vez, as exportações brasileiras de produtos semimanufaturados de rochas calcárias, no ano de 2013, foram predominantemente de cal (virgem e hidratada) e mais que dobraram em relação ao ano de 2012, totalizando, em 2013, 8,96 mil toneladas, no valor de aproximadamente US\$ 1,4 milhão. Os principais destinos desses produtos foram os países da América do Sul, sendo: Paraguai (46%), Uruguai (36%) e Argentina (18%) (DNPM, 2014a). Cumpre enfatizar que dada a pouca expressão das exportações e importações de cal, o consumo aparente acompanha o nível de produção, que é quase integralmente absorvido pelo mercado interno.

A Associação Brasileira da Indústria do Vidro (Abividro) congrega 95% das empresas produtoras de vidro no país, o que significa que pode ser considerada representante legítima do segmento vidreiro. Em 2012, foram produzidas cerca de 3 milhões de toneladas (Mt) de vidro, sendo os tipos plano e oco os mais representativos na produção total (Tabela 1).

Tabela 1 – Produção por Tipo de Vidro em 2012

Tipo de Vidro	Produção (t/ano)
Especial	107.561
Impresso	116.876
Oco ¹	1.471.259
Plano	1.396.448
TOTAL	3.092.144

¹Embalagens e vidro doméstico.

Fonte: Elaborado a partir de ABIVIDRO, 2014

A reciclagem de vidros determina redução considerável no consumo de energéticos na produção do vidro, e essa prática vem sendo adotada crescentemente no Brasil, tendo atingido uma taxa de 47% em 2011 (ABIVIDRO, 2014). Consequentemente, a reciclagem seria uma das possibilidades para se alcançar redução das emissões no setor. Países como Bélgica, Suécia e Suíça, por exemplo, já atingem índices de reciclagem acima de 90%.

A Abividro apresenta um gráfico com as produções históricas e as projeções de crescimento para os anos de 2020 e 2030, conforme pode ser visto na Figura 1. Projeta-se uma produção total de vidro de 10,3 Mt em 2020 e de 12,0 Mt em 2030, respectivamente.

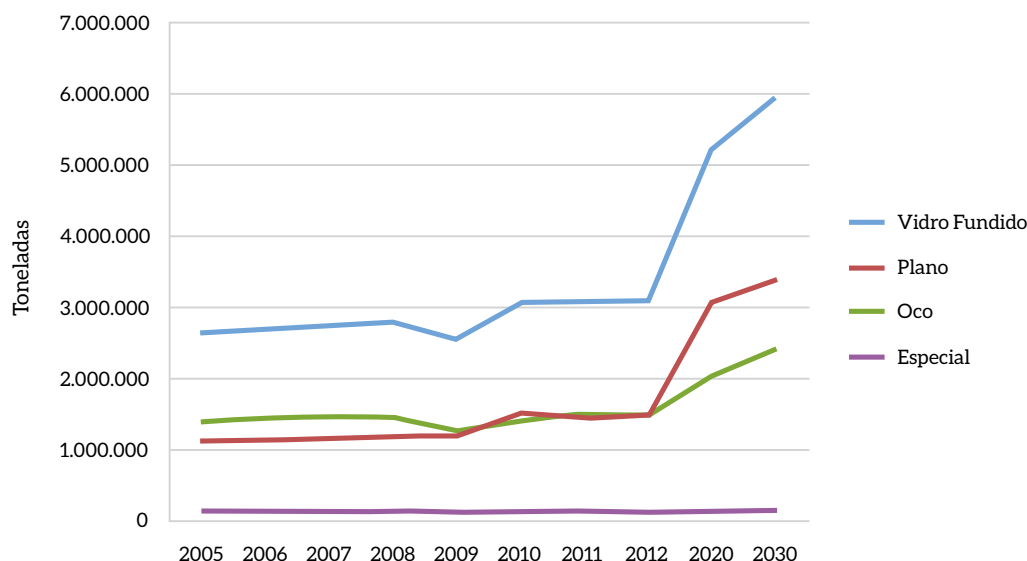


Figura 1 – Produção por Tipo de Vidro entre 2005 e 2030

Fonte: ABIVIDRO, 2014

O gesso é um dos três aglomerados minerais mais utilizados na construção civil, os outros dois são cimento e cal. Quanto a sua composição química, o gesso é caracterizado como sulfato de cálcio hemi-hidratado. O gesso é normalmente obtido pela calcinação da gipsita, matéria-prima para produção de gesso, que é um mineral compacto, de baixa dureza (riscado pela unha), pouco solúvel em água e muito solúvel em ácido clorídrico (HCl).

Os depósitos mais importantes da gipsita no Brasil encontram-se em Pernambuco, na região do Araripe, situada no limite dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, onde se localiza o Polo Gesseiro do Araripe (GESSO FÁCIL, 2015).

Em 2013, o Brasil importou 243.916 t de gipsita e seus derivados, quantidade 57,6% maior do que a importada em 2012. O valor total das importações de gipsita foi de US\$ 33,1 milhões, aumento de 40,2% em relação ao ano anterior. As importações de gipsita, gesso e seus derivados são compostas basicamente por produtos manufaturados que representam quase 96% do valor total das importações. O valor das exportações brasileiras de gipsita e seus derivados, em 2013, foi de US\$ 2,1 milhões, elevação de 15,2% em relação ao valor de 2012. O aumento da quantidade exportada no ano de 2013 colaborou para o incremento das exportações, ainda assim a quantidade exportada representa menos de 1% da produção nacional. Desse total, as exportações de manufaturados representaram 99,5%, enquanto o restante foi representado pela venda de bens primários (DNPM, 2014b).

O consumo aparente de gipsita, em 2013, foi de aproximadamente 3,5 Mt, redução de 8,7% em relação a 2012, e a produção totalizou 3,3 Mt. O preço de gipsita (ROM) informado pelos produtores foi de R\$ 22,01 por tonelada, aumento nominal de apenas 2% em relação ao ano anterior. Apesar

de o preço da gipsita ter se mantido estável no mercado interno, os produtos importados sofreram considerável diminuição: o preço (em US\$) dos bens primários e dos manufaturados de gesso tiveram redução, respectivamente, de 18,3% e 8,6%. O consumo *per capita* anual de gesso no Brasil é de aproximadamente 18 kg, valor bem abaixo da média dos países industrializados (DNPM, 2014b).

A Knauf do Brasil, multinacional alemã, referência mundial em sistemas de construção a seco (*drywall*), está construindo sua segunda fábrica no Brasil, no município de Camaçari, na Bahia, situado a 41 quilômetros de Salvador. Com investimentos na ordem de R\$ 150 milhões, a nova fábrica vai aumentar em 80% a capacidade produtiva total da empresa. A expectativa é que a nova fábrica gere cerca de 150 empregos, entre diretos e indiretos, para a região. O governo do Maranhão inaugurou o Distrito Industrial de Grajaú, a 550 quilômetros de São Luís, com investimentos de R\$ 3,9 milhões. A ideia é oferecer uma infraestrutura competitiva para a cidade, conhecida como polo gesseiro, e atrair mais investimentos para a região. Oito empresas já estão instaladas e mais seis estão interessadas no projeto (DNPM, 2014b).

Por fim, deve-se destacar que a utilização de sistemas de construção a seco (*drywall*) na construção civil brasileira continua se expandindo de forma consistente. Após crescer 12,2% em 2012, fechou 2013 com 13,5% de aumento, atingindo 49,7 milhões de metros quadrados de chapas de gesso. As regiões Sudeste e Sul, com São Paulo à frente, continuam liderando o mercado do *drywall*, consumindo 76% do total. Os 24% restantes estão divididos entre as regiões Centro-Oeste (15%) e Nordeste (9%) (DNPM, 2014b).

1.2 PROCESSOS PRODUTIVOS DOS SEGMENTOS DE CAL, GESSO E VIDRO

O objetivo desta seção é fornecer informações capazes de orientar uma proposta de desagregação dos segmentos de produção de cal, gesso e vidro de forma a tornar mais precisa a avaliação do potencial de mitigação dessa indústria.

A matéria-prima básica utilizada na produção de cal é a rocha calcária. A cal virgem resulta da calcinação dessas rochas quando aquecidas em fornos com temperaturas superiores a 725°C. Necessita-se de 1,7 a 1,8 tonelada de rocha calcária para a fabricação de 1 tonelada de cal virgem. Por sua vez, cada tonelada de cal virgem permite obter, aproximadamente, 1,3 tonelada de cal hidratada (ABPC, 2012).

Os produtores de cal podem ser classificados em quatro segmentos: 1) produtor integrado (produz cal virgem e/ou cal hidratada em instalações industriais próprias, tendo como matéria-prima a rocha calcária necessariamente extraída de mina própria); 2) produtor não integrado (*idem* ao primeiro, porém adquire a rocha calcária de terceiros); 3) transformador (realiza a moagem de cal virgem e/ou produz cal hidratada a partir de cal virgem adquirida de terceiros); e 4) produtor cativo (produz e emprega a cal para uso próprio – no caso, normalmente, são as grandes indústrias siderúrgicas). Preponderam no Brasil os produtores integrados (77% da produção total em 2007), seguidos pelo mercado cativo (17% da produção no mesmo ano) (ABPC, 2012).

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2010a) e a Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC, 2012), o processo de obtenção da cal inicia-se com a britagem e moagem das pedras

de calcário a fim de homogeneizar seus tamanhos para alimentação dos fornos de calcinação. Nos fornos, geralmente verticais, as pedras são calcinadas a cerca de 1.250°C, sendo retiradas pela base para seguir para nova moagem, estoque e embalagem.

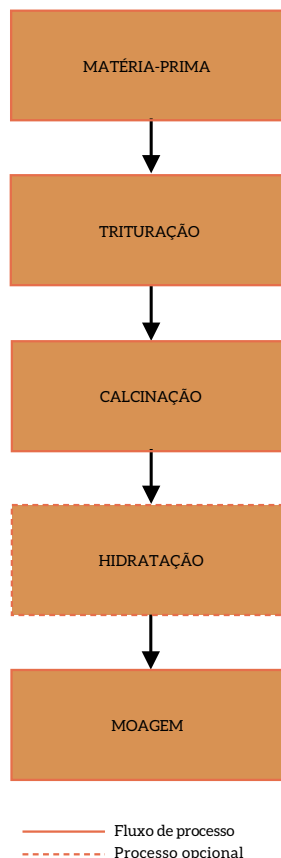


Figura 2 – Fluxograma do Processo Produtivo da Cal

Fonte: CNI, 2010a

A etapa de calcinação requer aquecimento direto, que tem sido propiciado principalmente pelos seguintes combustíveis: coque de petróleo (30%), gás natural (20%), óleo combustível (20%), lenha (20%) e carvão mineral (10%) (MME, 2005). As outras etapas requerem, essencialmente, força motriz, provida por energia elétrica.

O gesso pode ser encontrado em abundância na natureza, podendo ser utilizado cru (sem ser calcinado) ou processado. O gesso cru, também conhecido como gipsita, é utilizado tanto pela indústria de cimento, na fabricação do cimento Portland, quanto na agricultura. O gesso calcinado é utilizado principalmente na construção civil, como revestimento de paredes, placas e painéis (SINDUSGESSO, 2012).

A cadeia produtiva do gesso envolve as atividades de mineração da gipsita, calcinação do minério para a obtenção do gesso e fabricação de artefatos (Figura 3). Segundo a Atecel (2006), cerca de 97% do consumo total de energia no processo ocorrem na etapa de calcinação da gipsita.

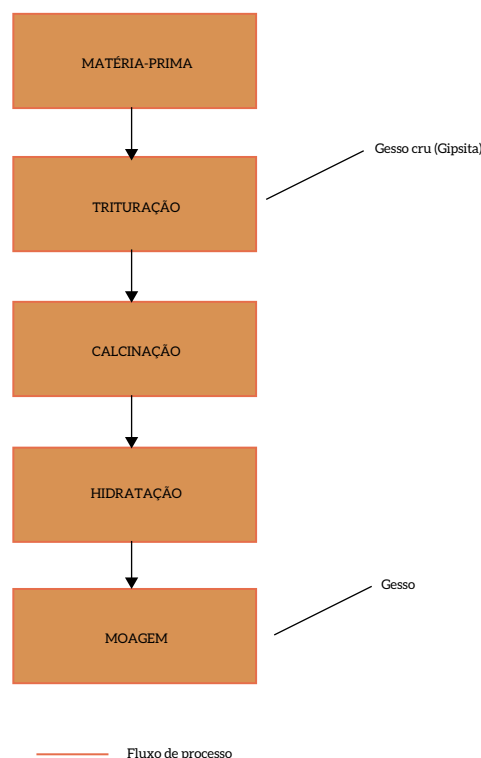


Figura 3 – Fluxograma do Processo Produtivo do Gesso

Fonte: CNI, 2010a

A indústria do vidro é grande consumidora de minerais não metálicos,³ somados a pequenas quantidades de aditivos que possibilitam sua conversão em produtos refinados, com características específicas de resistência, propriedades mecânicas, térmicas, óticas e acústicas. Os vidros são compostos, geralmente, por areia (SiO_2) – 70% a 74%; barrilha (Na_2O) – 12% a 16%; calcário (CaO) – 5% a 11%; dolomita (MgO) – 1% a 3%; feldspato (AlO_2O_3) – 1% a 3%; e aditivos como sulfato de sódio, ferro, cobalto, cromo, selênio e outros (IPT, 1983).

Os vidros são, em geral, classificados em quatro grandes áreas: vidros planos, vidros especiais, vidros de embalagem e vidros domésticos (ABIVIDRO, 2012). Os vidros planos são fabricados em chapas, com ampla aplicação na indústria da construção civil, automobilística, moveleira e decoração. As embalagens de vidro são largamente utilizadas na indústria de bebidas, alimentícia e farmacêutica. Os vidros de uso doméstico são usados em utensílios, como louças de mesa, copos, xícaras e objetos de decoração em geral. Os vidros especiais, ou técnicos, compreendem uma vasta gama de produtos para uso em diversos segmentos industriais, como construção civil, farmacêutico, alimentício, automobilístico, entre outros.

3 São minerais cuja exploração não é motivada por seu conteúdo metálico, ainda que possuam metais em sua composição. Entre os minerais não metálicos estão argilas, pedras, sais, substâncias de grande utilidade industrial, como gipsita, e mesmo alguns elementos, como enxofre e carbono sob a forma de grafite. As pedras preciosas e semipreciosas também são classificadas como minerais não metálicos (CNI, 2010b).

A Figura 4 apresenta um fluxograma com as etapas do processo produtivo dos diversos tipos de produtos do segmento. Observa-se que não há grande diferença entre os processos. A fabricação do vidro plano difere dos demais na etapa de estiragem e/ou impressão, que, para todos os produtos, é substituído pelo processo de conformação.

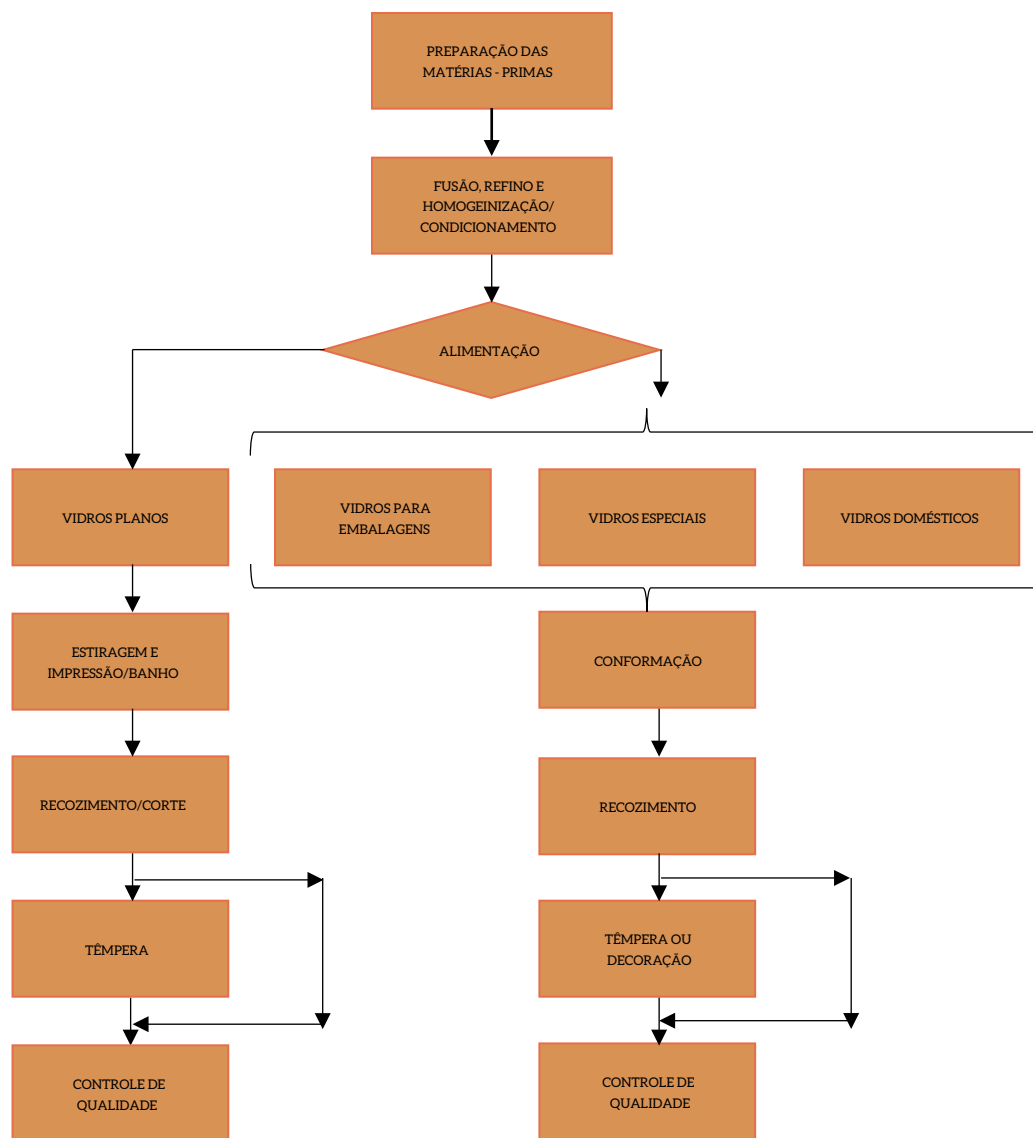


Figura 4 – Etapas do Processo Produtivo da Indústria Vidreira

Fonte: CNI, 2010b

A preparação das matérias-primas é uma etapa que não existe em todas as plantas, pois há casos em que a matéria-prima chega à fábrica pronta para uso, adquirida de outras indústrias. No entanto, na maioria das instalações, existe um sistema próprio de moagem, peneira, secagem e análise do material, envolvendo o consumo de energia elétrica e térmica. Para a secagem das matérias-primas, normalmente, utiliza-se gás natural ou óleo combustível. Os fornos de fusão de vidro constituem o centro do processo produtivo, e é onde se registram os maiores consumos de combustível. Em todos

os processos, independentemente do tipo de vidro produzido, o objetivo é a formação da massa de vidro. O processo de conformação dá forma ao vidro e, quanto às demais etapas, apresenta menor consumo de energia térmica e consumo mais elevado de eletricidade, envolvendo operações como sopragem, prensagem, estiramento, centrifugação, laminação, entre outras. As fases de corte e requieima são consumidoras moderadas de energia, geralmente eletricidade. O recozimento consiste em submeter as peças conformadas, durante determinado tempo, a certa temperatura, permitindo que sejam eliminadas tensões internas provocadas durante o processo de conformação. O processo de recozimento, assim como os fornos de fusão, é consumidor de energia térmica, sendo realizado o aquecimento para conformação por meio de resistências elétricas. Finalmente, as operações secundárias referem-se às operações de têmpera, curvamento, decoração, espelhamento, lapidação e gravação. O processo de têmpera, por ser consumidor relevante de combustíveis, merece atenção especial. Consiste em submeter a peça de vidro, plano ou não, a altas temperaturas, seguida por resfriamento rápido. Esse processo aumenta a resistência mecânica do vidro (IPT, 1983).

Em suma, a indústria vidreira é energointensiva, pois utiliza fornos de elevada temperatura, onde as matérias-primas são processadas a 1.500°C. O gás natural, a partir de sua penetração, substituiu rapidamente o consumo de GLP e de óleo combustível na atividade, pois é um combustível mais adequado para processos com maior agregação de valor (vidros especiais).⁴ Em 2007, 72% da matriz energética do segmento foram atendidos por esse combustível, seguido pela energia elétrica, com 19% do mercado, óleo combustível, com 8%, e GLP, com 1%. Mais de 90% do consumo de combustíveis ocorrem em fornos de fusão, e o restante, em operações de conformação do vidro (IPT, 1983; IEA, 2007). A energia elétrica é utilizada como apoio elétrico (*electrical boosting*) para homogeneização da composição (IEA, 2007), o que aprimora a qualidade do produto.

1.3 CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE GEE

O uso de energia em todos os segmentos de outras indústrias, que abrangem os analisados neste estudo, é diversificado e reflete a heterogeneidade das atividades produtivas (Tabela 1). Alguns segmentos são energointensivos, como é o caso da fabricação de vidro e de cal, cujos processos exigem grande aporte de energia térmica. Segundo Henriques Jr. (2010), em um bloco de intensidade energética intermediária, estão os segmentos de gesso, artefatos de couro e de borracha e plásticos, com os demais segmentos utilizando pouca energia em seus processos produtivos.

O consumo total do segmento “outros” atingiu cerca de 7,2 e 8,0 milhões de tep em 2010 e 2014, o que representou 8,4% e 9,5% do consumo total de energia na indústria, respectivamente, em 2010 e 2014. A eletricidade é a principal fonte energética, seguida pelo gás natural, com cerca de 50% e 23% do consumo total em 2014 (Tabela 3). Os combustíveis empregados também vêm se alterando. O óleo combustível vem sendo gradativamente substituídos pelo gás natural.

4 O gás natural garante um bom controle da temperatura do processo de fusão, característica que é fundamental, sobretudo, para a produção de vidros especiais (CNI, 2010b).

Tabela 2 – Consumo de Energéticos no Setor de Outras Indústrias entre 2005 e 2014 (mil tep)

Fontes	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Gás natural	984	1.063	1.186	1.425	1.368	1.901	2.079	1.856	1.890	1.832
Carvão a vapor	99	121	142	185	219	87	90	94	166	212
Lenha	703	724	752	798	783	874	898	889	907	898
Óleo diesel	113	116	124	129	129	144	154	162	188	198
Óleo combustível	358	226	301	310	310	177	170	101	111	111
GLP	148	171	184	192	200	153	196	215	257	262
Querosene	5	3	2	1	1	1	1	1	0	0
Eletricidade	3.024	3.219	3.283	3.390	3.315	3.380	3.636	3.671	3.939	3.985
Carvão vegetal	10	10	11	11	11	12	13	13	13	13
Outras	380	399	439	448	469	481	529	503	508	503
Total	5.824	6.052	6.425	6.888	6.804	7.211	7.767	7.504	7.979	8.014

Fonte: Elaborado a partir de EPE, 2016a

Tabela 3 – Participação Relativa dos Energéticos Utilizados no Setor de Outras Indústrias entre 2005 e 2014 (%)

Fontes	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Gás natural	16,9	17,6	18,5	20,7	20,1	26,4	26,8	24,7	23,7	22,9
Carvão vapor	1,7	2,0	2,2	2,7	3,2	1,2	1,2	1,3	2,1	2,6
Lenha	12,1	12,0	11,7	11,6	11,5	12,1	11,6	11,8	11,4	11,2
Óleo diesel	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,2	2,4	2,5
Óleo Combustível	6,1	3,7	4,7	4,5	4,6	2,5	2,2	1,3	1,4	1,4
GLP	2,5	2,8	2,9	2,8	2,9	2,1	2,5	2,9	3,2	3,3
Querosene	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eletricidade	51,9	53,2	51,1	49,2	48,7	46,9	46,8	48,9	49,4	49,7
Carvão vegetal	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Outras	6,5	6,6	6,8	6,5	6,9	6,7	6,8	6,7	6,4	6,3
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Elaborado a partir de EPE, 2016a

Segundo estimativas da CNI (2010a), o consumo energético específico total envolvido na fabricação de cal no Brasil, em 2007, foi de 0,104 tep/t ou 4,35 GJ/t. Com base nas melhores práticas de produção da cal no mundo, poder-se-ia alcançar um consumo específico que variaria de 3,60 a 4,50 GJ/t, respectivamente, médias na indústria de cal da União Europeia e da China. Logo, a indústria brasileira de cal é relativamente eficiente, em termos de consumo energético, praticamente inexistindo margem para eficiência energética de processos. Por esse motivo, a única alternativa aventada para mitigar emissões é a substituição do coque por lenha proveniente de floresta comercial como insumo para os fornos.

Estimativas da Atecel (2006), no que se refere ao polo gesseiro de Araripe, obtiveram consumo específico médio de eletricidade de 0,000559 tep/t de gesso, ou de 0,02 GJ/t e consumo específico médio de energia térmica de 0,016671 tep/t, ou de 0,70 GJ/t de gesso. Nesse mesmo levantamento, constatou-se a seguinte distribuição do consumo total de energia térmica entre os combustíveis: lenha (79%), coque (11%), óleo combustível (8%), outras fontes (2%). Todavia, esse energético foi responsável por somente 1% do consumo energético total da indústria gesseira. Segundo a CNI (2010a), deficiências da logística de transporte e a indisponibilidade de um energético que substitua a lenha proveniente da região da Caatinga na calcinação são os maiores empecilhos ao desenvolvimento do segmento. Mais do que isso, os autores destacam que a simplicidade dos processos produtivos implica mínima margem para promover a eficiência energética, a qual reduziria emissões de GEE.

Segundo Henriques Jr. (2010), no Brasil, a média de consumo específico do segmento é de 12,00 GJ/t de vidro, da qual cerca de 10,00 GJ/t referem-se ao uso de combustíveis. Segundo as melhores práticas internacionais para o setor, poder-se-ia alcançar consumo específico de até 3,90 GJ/t de vidro, o que demonstra haver amplo espaço para adoção de medidas de eficiência energética (IEA, 2007).

A Tabela 4 resume os consumos específicos de energia considerados para os setores de cal, gesso e vidro.

Tabela 4 – Consumos Específicos Totais de Energia dos Setores de Cal, Gesso e Vidro

Setor	Consumo específico (GJ/t)
Cal	4,35
Gesso	0,70
Vidro	12,00

Fonte: Elaboração própria com base em ATECEL, 2006; CNI, 2010a; HENRIQUES JR., 2010

Por fim, pode-se constatar que o setor de outras indústrias emitiu cerca de 15 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente em 2010, que é o ano-base que será considerado para a construção dos cenários REF e BC. Deve-se destacar que a emissão associada ao processo de descarbonatação do calcário, inerentes ao processo de produção, foi a mais representativa, com 5,9 MtCO₂e em 2010. Em seguida, vêm as emissões provenientes do consumo de gás natural, seguido de eletricidade. Conclui-se que as emissões dos setores de cal, gesso e vidro representaram cerca de 55% das emissões totais de outras indústrias em 2010 (MCTI, 2016).

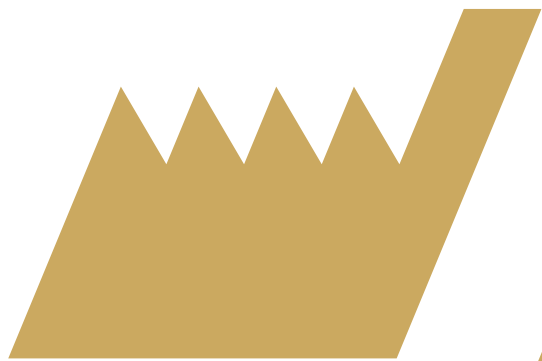
Cumprе enfatizar que as emissões de lenha não foram contabilizadas para evitar dupla contagem com o setor de Afolu, que também é analisado neste projeto. Finalmente, para mensurar as emissões provenientes da eletricidade, foi considerado o fator de emissão médio do grid elétrico, em 2010, de 0,0512 tCO₂/MWh (MCTI, 2014).

Tabela 5 – Emissões de GEE do Setor de Outras Indústrias em 2010

Fontes de energia	Emissões (MtCO ₂ e)
Gás natural	4,5
Carvão a vapor	-
Lenha	-
Óleo diesel	0,4
Óleo combustível	0,6
GLP	0,5
Querosene	-
Eletricidade	2,0
Querosene	-
Outras fontes secundárias de petróleo	1,3
Processo de descarbonatação	5,9
Total	15,1

Fonte: Elaborado a partir de IPCC, 2006; MCTI, 2016; EPE, 2016a

A seguir, serão detalhadas as MTD para o setor de outras indústrias, as quais possibilitam a eficiência dos processos produtivos, permitindo a redução no consumo de energia e emissões de GEE.



Melhores tecnologias disponíveis para a eficientização dos processos produtivos no setor de outras indústrias

Capítulo

2

2 MELHORES TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA A EFICIENTIZAÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS NO SETOR DE OUTRAS INDÚSTRIAS

Conforme discutido, está restrito aos setores vidreiro e cal o mapeamento de MTD com vistas à eficiência energética e redução de emissões de GEE. Diante disso, este capítulo discute as MTD aplicáveis aos setores, considerando sua disponibilidade comercial. Sempre que possível, as descrições das medidas incluirão parâmetros de potencial de economia de energia, redução de emissões de GEE, custos de investimento, custos de operação e manutenção (O&M) e vida útil das tecnologias. Trata-se, portanto, de mapear MTD que promovam a eficiência de processos produtivos e que tragam efeitos de segunda ordem, como redução no consumo de energia e emissões de GEE.

Interessantemente, o setor conduziu estudo no qual foram avaliadas oportunidades de mitigação de emissões de GEE. O documento intitulado *Estratégia de baixo carbono para a indústria brasileira de vidro* será utilizado como base para o mapeamento das MTD e posterior construção do cenário BC (ABIVIDRO, 2014).

Com base nesse documento, serão inicialmente caracterizadas as seguintes MTD para o setor vidreiro: fornos regenerativos; recuperação de calor e geração de eletricidade; oxidação; fusão elétrica; preaquecimento do caco ou composição; utilização de caco de vidro como matéria-prima. Por fim, será brevemente descrita a substituição de combustíveis no setor de cal.

2.1 FORNOS REGENERATIVOS

Os sistemas regenerativos fazem parte dos fornos do tipo cadinho e tanque. Os fornos de cadinho têm capacidade de duas toneladas ou menos e são adotados em pequena produção de vidros especiais ou quando é essencial proteger o banho fundido da ação dos produtos de combustão. São empregados, principalmente, na manufatura de vidro ótico, vidro artístico e vidro plano em chapa fundida. Por sua vez, nos fornos-tanque, os materiais da partida são introduzidos por uma extremidade de um grande tanque construído com tijolos refratários. O vidro se acumula numa massa líquida, sobre a qual incidem as chamas, alternadamente, de um e de outro lado. O vidro refinado é retirado pela extremidade oposta do tanque, em operação contínua (REZENDE et al., 2011).

Podem ser aplicados a esses fornos sistemas de regeneração, o que lhes permitiria operar em dois ciclos. As fumaças da combustão, depois de cederem calor ao vidro fundido durante a passagem pelo forno, descem por uma câmara recheada por um empilhamento cerâmico, momento em que boa parte do calor sensível dos gases é removido. Simultaneamente, o ar é preaquecido ao passar pela outra câmara de regeneração previamente aquecida e é, então, misturado com o gás combustível inflamado, resultando em uma chama mais quente que a formada com um ar sem o preaquecimento. Em intervalos regulares de 20 a 30 minutos, o fluxo da mistura de gás é invertido, e a entrada passa a ser feita pelo lado oposto, através do empilhamento cerâmico previamente aquecido, passando, na saída, através do empilhamento da primeira câmara, agora consideravelmente arrefecido. Mediante esse princípio regenerativo, economizam-se calor e, conseqüentemente, insumos energéticos para produzi-lo.

Segundo a Abividro (2014), essa MTD está disseminada no Brasil, com disponibilidade comercial e alto potencial de redução de emissões de GEE. Todavia, pode ser aplicada somente a partir da reforma de fornos existentes ou em novas plantas industriais. É aplicável na produção de vidro oco e vidro plano. Em fornos de produção de vidro oco, o custo marginal de capital é de R\$ 22,7 milhões; o custo de operação anual é de R\$ 121,2 mil; a vida útil é de dez anos; e o potencial de abatimento de emissões anual é de 5.152 tCO₂/ano. Em fornos de vidro plano, por sua vez, o custo marginal de capital é de R\$ 243,6 milhões; o custo de operação anual é de R\$ 3,7 milhões; a vida útil é de dez anos; e o potencial de abatimento de emissões anual é de 15.100 tCO₂/ano.

2.2 RECUPERAÇÃO DE CALOR E GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

Trocadores de calor são empregados nas mais variadas aplicações de engenharia, sendo dispositivos que visam à troca de calor entre dois fluidos a diferentes temperaturas, separados por uma parede sólida (INCROPERA; DEWITT, 2003). Diferentes classificações são encontradas para os trocadores de acordo com o sentido de movimentação, a quantidade de passagens dos fluidos pelo dispositivo e o tipo de construção do equipamento.

Na indústria vidreira, usualmente, os fornos para produção de vidro oco e vidro plano podem ter acoplado à exaustão um recuperador de calor para preaquecer o ar de combustão a partir do calor liberado com os gases resultantes da combustão. Segundo Baukal (2000), o emprego de trocadores de calor na forma de recuperadores aumenta a eficiência do sistema de combustão.

Vale lembrar que essa tecnologia permite a cogeração de energia (produção simultânea de energia elétrica e térmica a partir de um único combustível). Essa é a configuração proposta pela Abividro (2014), todavia com geração exclusiva de eletricidade, visto que o setor vidreiro praticamente não utiliza energia térmica.

Segundo a Abividro (2014), essa MTD ainda não está disseminada no Brasil, o que representa uma barreira à difusão, com vistas à efficientização energética do setor. Por outro lado, tem disponibilidade comercial e alto potencial de redução de emissões de GEE. É aplicável na produção de vidro oco e vidro plano. Em fornos de produção de vidro oco, o custo marginal de capital é de R\$ 15,0 milhões; o custo de operação anual negativo é de R\$ 841,6 mil; a vida útil é de 20 anos;

e o potencial de abatimento de emissões anual é de 656 tCO₂/ano. Em fornos de vidro plano, por sua vez, o custo marginal de capital é de R\$ 23,0 milhões; o custo de operação anual negativo é de R\$ 3,2 milhões; a vida útil é de 20 anos; e o potencial de abatimento de emissões anual é de 1.934 tCO₂/ano.

2.3 OXICOMBUSTÃO

A indústria vidreira requer grande quantidade de energia para alcançar temperaturas elevadíssimas para o processo de fusão. A oxicombustão, tecnologia baseada no enriquecimento ou substituição do ar com oxigênio puro, é largamente utilizada pelas indústrias de vidros e metais para melhoria do processo de combustão, que, conseqüentemente, reduz a demanda por combustíveis. Para o aquecimento de fornos industriais, geralmente, utiliza-se ar, que supre oxigênio para a combustão. A oxicombustão consiste no enriquecimento do ar com oxigênio puro para diminuir o consumo de combustível. Essa diminuição é ainda mais expressiva do que a eliminação total do nitrogênio. A oxicombustão também reduz as emissões de dióxido de carbono e de óxido de nitrogênio.

Segundo a Abividro (2014), as empresas que viabilizam a utilização da tecnologia de oxicombustão nas indústrias de vidro, normalmente, não cobram pelo custo da adaptação do forno e pelos equipamentos. Para tal, faz-se um contrato de fornecimento do oxigênio por determinado período de tempo e os custos de Capex (custo de capital), que correm por conta do fornecedor da tecnologia, acabam sendo diluídos no custo do contrato. Assim, o capital a ser desembolsado pela indústria está relacionado somente à obra civil. Embora não esteja amplamente disseminada no Brasil, tem disponibilidade comercial e alto potencial de redução de emissões.

A oxicombustão é aplicável na produção de vidro oco e vidro plano. Em fornos de produção de vidro oco, o custo marginal de capital é de R\$ 200,0 mil; o custo de operação anual é de R\$ 2,1 milhões; a vida útil é de dez anos; e o potencial de abatimento de emissões anual é de 13.739 tCO₂/ano. Em fornos de vidro plano, por sua vez, o custo marginal de capital é de R\$ 400,0 mil; o custo de operação anual é de R\$ 4,8 milhões; a vida útil é de dez anos; e o potencial de abatimento de emissões anual é de 40.226 tCO₂/ano. Cumpre enfatizar que o alto custo de O&M decorre da significativa demanda por oxigênio puro.

2.4 FUSÃO ELÉTRICA

Essa MTD consiste no uso da eletricidade como fonte de energia térmica no forno de fusão, o que diminui a demanda por combustíveis fósseis, mais carbonointensivos, para essa finalidade.

Segundo a Abividro (2014), a fusão elétrica não foi considerada para a produção de vidro plano por somente estar disponível para aplicação em fornos com pequena capacidade de produção diária. Assim, não satisfaz a indústria de vidro plano, que tem grandes fornos com capacidade igual ou superior a 600 toneladas de vidro/dia.

A fusão elétrica está disseminada no Brasil e tem disponibilidade comercial e alto potencial de redução de emissões de GEE, pois praticamente elimina as emissões diretas associadas à

combustão. Por outro lado, é aplicável somente na reforma do forno e restrita para capacidades até 200 t/dia. Seu custo marginal de capital é de R\$ 51,5 milhões; o custo de operação anual é de R\$ 772,6 mil; a vida útil é de sete anos; e o potencial de abatimento de emissões anual é de 34.346 tCO₂/ano (ABIVIDRO, 2014).

2.5 PREAQUECIMENTO DO CACO OU COMPOSIÇÃO

Segundo Frisch Verrer (2016), o preaquecimento de composição ou caco em fornos de fusão está presente em instalações existentes na Europa e permite redução de 10% a 18% no consumo energético. O caco é preaquecido com gases do forno e misturado à matéria-prima, e então enviado ao forno de fusão (CETESB, 2014).

A tecnologia é viável em misturas com mais de 50% de caco na composição, o que inviabiliza a aplicação para produção de vidro plano, a qual utiliza, em média, 15% de caco. O preaquecimento de cacos e composição está disseminado no Brasil e tem disponibilidade comercial. Por outro lado, é necessário umidificar a matéria-prima e há uma limitação adicional relacionada ao fato de que a tecnologia para preaquecimento do caco somente está disponível para utilização com mais de 50% de caco. Seu custo marginal de capital é de R\$ 5,2 milhões; o custo de operação anual é de R\$ 393,9 mil; a vida útil é de dez anos; e o potencial de abatimento de emissões anual é de 5.152 tCO₂/ano (ABIVIDRO, 2014).

2.6 UTILIZAÇÃO DE CACO DE VIDRO COMO MATÉRIA-PRIMA

Os cacos de vidro são reutilizáveis com praticamente capacidade total de reaproveitamento. A utilização dos cacos na fabricação proporciona economia de matéria-prima, além de redução no consumo de energia. Segundo Armellini e Fernandes (2015) e Cetesb (2014), a utilização de cacos de vidro permite economia média de 25% de energia, visto que a temperatura necessária para a reciclagem (1.000°C) é inferior à aplicada nos fornos de fusão para a produção de vidro a partir de matéria-prima natural (1.400°C). Ainda apresenta como benefício redução de 25% nas emissões e de 50% no consumo de água.

O reaproveitamento dos cacos para a confecção de novos vidros pressupõe certa homogeneidade no tipo de material a ser reciclado. Assim, os vidros de cor âmbar, como os de garrafa de cerveja, são beneficiados num grupo separado dos vidros verdes ou brancos, por exemplo. Há também grupos que podem estar misturados. Estes podem ser usados para quem não necessita de padrões muito rígidos e homogêneos. A partir da separação por tipo de vidro, o material é jogado para ser quebrado em pedaços. Em seguida, é realizada triagem para retirar tampas e eventuais plásticos e papéis. Por fim, o material segue para a indústria vidreira, quando é encaminhado para os fornos de fusão (ARPELLINI; FERNANDES, 2015).

Segundo a Abividro (2014), a utilização de caco pela indústria de vidro plano apresentava, em 2005, média de 15%. Entretanto, o grande aumento de capacidade de produção dessa categoria, devido ao aumento de capacidade das indústrias existentes ou do surgimento de novas indústrias,

a partir do ano de 2012, não permite a avaliação do percentual de utilização de caco com essa nova capacidade produtiva. Além disso, não existem estudos publicados que avaliem a capacidade de captação de caco externo para essa categoria e os custos vinculados a essa atividade, entre outros. Entretanto, sabe-se da dificuldade de incremento da utilização de caco pela indústria de vidro plano. Assim, qualquer consideração sobre o incremento da utilização de caco para o vidro plano seria mera estimativa, sem qualquer embasamento técnico. Por esses motivos, a utilização não é considerada para a produção de vidro plano.

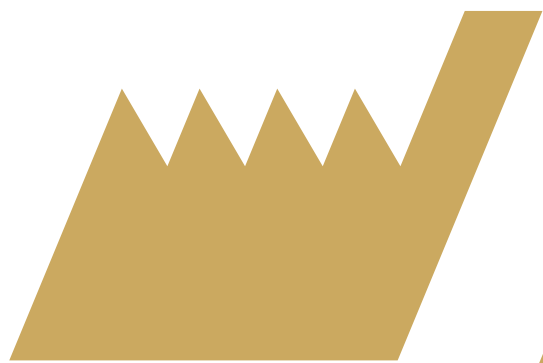
A utilização de caco de vidro como matéria-prima está disseminada no Brasil e tem disponibilidade comercial. A captação e a qualidade do caco, por outro lado, limitam a sua aplicação. Não demanda a realização de investimento (custo de capital); tem custo de operação anual de R\$ 1,4 milhão; vida útil de dez anos; e potencial de abatimento de emissões anual de 5.740 tCO₂/ano (ABIVIDRO, 2014).

2.7 SUBSTITUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS NA PRODUÇÃO DE CAL

Segundo Toneto e Pinho (2014), a substituição integral do consumo de coque de petróleo por gás natural como insumo energético para a produção de cal permitiria alcançar redução de emissões entre 20% e 26%.

Os mesmos autores afirmam que essa prática não requer custo de capital, na medida em que os fornos têm flexibilidade para operar com diferentes combustíveis. Por outro lado, haveria incremento nos custos de operação, na medida em que o gás natural é adquirido por um preço cerca de 25% superior ao coque de petróleo (EPE, 2016a). Nesse caso, não haveria inversão financeira em mudança tecnológica, mas, sim, aumento de custo pela troca entre combustíveis. Por esse motivo, o custo de abatimento da atividade é relativamente baixo, situado em torno de US\$10/tCO₂ (HENRIQUES JR., 2010).

Conservadoramente, será considerada a substituição de 50% na demanda de coque de petróleo por gás natural, o que implica redução de 10% nas emissões de GEE do setor de cal.



Cenários de referência e baixo carbono

Capítulo

3

3 CENÁRIOS DE REFERÊNCIA E BAIXO CARBONO

Este capítulo apresenta os cenários REF e BC, com foco no consumo de energia e nas emissões de GEE, construídos para o setor de outras indústrias. 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 e 2015 (MCTI, 2015; EPE, 2016a).

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 de energia, produção, número de plantas existentes e capacidades de produção, 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 já 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 a partir da penetração das MTD descritas no capítulo 2, que são aplicáveis exclusivamente ao setor vidreiro. Com vistas a mensurar os custos marginais de abatimento das tecnologias, fez-se necessário avaliar taxas de desconto, para o quê foram consultados especialistas do setor.

A seguir, para os cenários REF e BC, serão descritas as premissas assumidas para sua construção e, em seguida, serão apresentados os resultados em termos de consumo de energia e emissões de GEE. Por fim, exclusivamente no cenário BC, tratar-se-á dos custos marginais de abatimento.

3.1 CENÁRIO REF

3.1.1 PREMISSAS

Para a construção do cenário REF do setor de outras indústrias, inicialmente, foram consideradas projeções de produto interno bruto (PIB) para o período de 2010 a 2050, convertidas em médias quin-quenais (Tabela 6) (HADDAD, 2015). Foram utilizadas projeções relativas ao segmento de minerais não metálicos (código do produto: 020303).

Tabela 6 – Taxas de Crescimento Médio Anual do PIB no Período de 2010 a 2050

Período	Crescimento Médio Anual (%)
2010-2015	2,35
2016-2020	-0,39
2021-2025	1,58
2026-2030	1,62
2031-2035	1,57
2036-2040	1,47
2041-2045	1,34
2046-2050	1,22
2010-2050	1,35

Fonte: Elaborado a partir de HADDAD, 2015

Utilizando-se as taxas de crescimento resumidas na Tabela 6 e o percentual de participação de cada energético em 2014 (Tabela 3), é possível projetar o consumo de energia do setor até 2050. A ocorrência de um *breakthrough* tecnológico foi desconsiderada, motivo pelo qual a participação dos combustíveis na matriz de consumo final de energia permanece constante. Finalmente, considerou-se uma eficientização tendencial no consumo de energia que segue a média observada entre 2000 e 2014, qual seja: de 0,5% ao ano (EPE, 2016b).

Optou-se por projetar a demanda de energia a partir da aplicação das taxas de crescimento do PIB em função da impossibilidade de estimar a produção dos diferentes segmentos que compõem o setor de outras indústrias. Seria possível obter dados relativos aos segmentos de cal, gesso e vidro, que poderiam ser multiplicados pelos consumos específicos de energia relatados no capítulo 1, aplicando-se as mesmas as taxas de crescimento do PIB para projetar o consumo de energia. Todavia, o montante não refletiria a demanda energética.

A projeção das emissões de CO₂ no cenário REF se baseou na evolução da demanda energética para o mesmo cenário. Foram considerados os fatores de emissão *default* do IPCC constantes da Tabela 7, que também foram utilizados na Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTI, 2016). Conforme mencionado anteriormente, foram desconsideradas emissões da lenha para evitar dupla contagem com o setor de Afolu, o que pode ocorrer caso a origem seja de floresta nativa.

Tabela 7 – Fatores de Emissão de CO₂

Fontes	Fatores de emissão (tCO ₂ /TJ)
Gás natural	56,1
Óleo diesel	74,1
Óleo combustível	77,4
GLP	63,1
Querosene	71,9
Carvão mineral	94,6

Fonte: Elaborado a partir de IPCC, 2006; MCTI, 2016

Para a eletricidade proveniente do Sistema Interligado Nacional (SIN), foram utilizados os fatores de emissão informados pelo MCTI (2015) (Tabela 8). Para o período de 2017 a 2050, por sua vez, 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, 2017).

Tabela 8 – 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, 2017

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 de referência, 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, 2017).

3.1.2 CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE GEE

A demanda de energia do setor de outras indústrias apresenta crescimento de 64% no período de 2010 a 2050, permanecendo a eletricidade e o gás natural como principais insumos energéticos. Observa-se queda no consumo de energia entre 2015 e 2020, derivada da crise macroeconômica atual, ora refletida em queda média do PIB no período de 0,39% ao ano.

Tabela 9 – Consumo Energético por Fontes entre 2010 e 2050

Fontes de energia	Consumo de Energia (mil tep) – Cenário REF								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	1.901	2.124	2.073	2.231	2.405	2.587	2.769	2.945	3.113
Carvão vapor	87	97	95	102	110	118	127	135	142
Lenha	874	977	953	1.026	1.106	1.189	1.273	1.354	1.431
Óleo diesel	144	161	157	169	182	196	210	223	236
Óleo combustível	177	198	193	208	224	241	258	274	290
GLP	153	171	167	180	194	208	223	237	251
Querosene	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	3.380	3.777	3.686	3.966	4.277	4.600	4.923	5.236	5.535
Outras	493	551	538	579	624	671	718	764	807
Total	7.210	8.057	7.861	8.459	9.121	9.811	10.501	11.167	11.806

Fonte: Elaboração própria

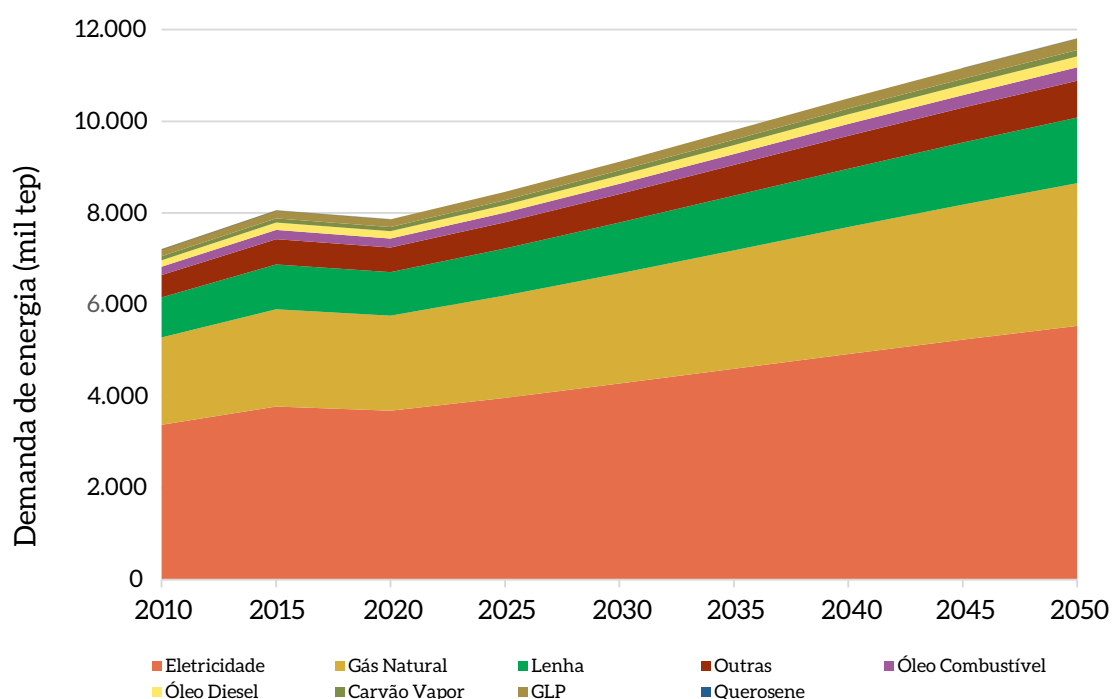


Figura 5 – Consumo Energético no Cenário de Referência por Fontes (mil tep)

Fonte: Elaboração própria

As emissões de GEE do setor de outras indústrias praticamente triplicam no período de 2010 a 2050. Pode-se destacar, inicialmente, a queda nas emissões até 2025, comparativamente a 2015. De fato, o setor de outras indústrias apresenta, em 2030, o patamar de emissões de 2015, fruto da queda tanto da atividade econômica quanto do fator de emissão do *grid* elétrico. Nesse caso, percebe-se o efeito sobre o fator de emissão oriundo do crescimento da geração eólica em detrimento da geração termoeletrica.

Por outro lado, o deplecionamento do potencial hidrelétrico remanescente e o limite de fontes renováveis na geração de eletricidade (MCTIC, 2017) levam a que o setor elétrico, a partir de 2030, passe a se expandir por meio da geração termoeletrica a carvão mineral. Por esse motivo, a eletricidade passa a ser a principal fonte de emissão do setor de outras indústrias a partir de 2040.

Tabela 10 – Emissões de GEE entre 2010 e 2050

Fontes de energia	Emissões (MtCO ₂ e) – Cenário REF								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	4,5	5,0	4,9	5,3	5,7	6,1	6,5	6,9	7,3
Óleo diesel	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
Óleo combustível	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9
GLP	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7
Eletricidade	2,0	5,5	2,1	2,2	4,5	5,3	7,7	11,7	16,3
Outras fontes	1,3	1,5	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
Total combustíveis	9,3	13,6	10,0	10,6	13,7	15,2	18,2	22,9	28,1
Emissões de processo	5,8	6,6	6,5	7,0	7,6	8,2	8,8	9,5	10,0
Total	15,1	20,2	16,5	17,6	21,3	23,4	27,0	32,4	38,1

Fonte: Elaboração própria

Tabela 11 – Participação por Fontes de Energia nas Emissões Totais de GEE entre 2010 e 2050

Fontes de energia	Participação nas Emissões Totais – Cenário REF								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	48,4%	37,0%	48,9%	49,4%	41,5%	40,2%	35,9%	30,3%	26,1%
Óleo diesel	4,3%	3,7%	4,9%	4,9%	4,2%	4,0%	3,6%	3,0%	2,6%
Óleo combustível	6,5%	4,7%	6,3%	6,4%	5,3%	5,2%	4,6%	3,9%	3,4%
GLP	5,4%	3,3%	4,4%	4,5%	3,8%	3,6%	3,3%	2,7%	2,4%
Eletricidade	21,5%	40,5%	21,2%	20,4%	33,1%	35,2%	42,1%	51,2%	58,0%
Outras fontes	14,0%	10,8%	14,3%	14,4%	12,1%	11,7%	10,5%	8,8%	7,6%
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Elaboração própria

3.2 CENÁRIO BC

3.2.1 PREMISSAS

O cenário BC de outras indústrias foi construído a partir de penetração de algumas MTD descritas no capítulo 2. Conforme destacado, a simplicidade dos processos produtivos do setor gesseiro é um obstáculo à eficiência energética. No setor de cal, por seu turno, o consumo específico de energia revela que a atividade se encontra no mesmo nível de eficiência das plantas de referência internacional, que estão localizadas na China e em países da União Europeia. Por esse motivo, considera-se exclusivamente a substituição do coque de petróleo por gás natural.

Em função disso, será considerada, no cenário, a introdução das seguintes atividades de baixo carbono:

- Fornos regenerativos;
- Recuperação de calor e geração de eletricidade;
- Oxidcombustão;
- Fusão elétrica;
- Preaquecimento do caco ou composição;
- Utilização de caco de vidro como matéria-prima;
- Substituição de coque de petróleo por gás natural.

Uma vez que as referidas tecnologias de baixo carbono para o setor vidreiro estão disponíveis comercialmente, considera-se a implementação a partir de 2020. Como a vida útil das tecnologias é inferior ao período em análise (2020 a 2050 – 30 anos), será necessário, para fins do cálculo do custo de abatimento, considerar a reposição das tecnologias. Por seu turno, não se faz necessária a implementação de novas tecnologias para a substituição de combustíveis no setor de cal. Nesse caso, é considerada a substituição de 50% na demanda por coque de petróleo por gás natural a partir de 2020.

Para fins de projeção do consumo de energia e emissões de GEE, serão considerados os parâmetros de potencial de mitigação constantes do capítulo 2, que são resumidos na Tabela 12. Observa-se que o potencial por ano de redução de emissões, decorrente da adoção das tecnologias nos segmentos de vidro oco e vidro plano, é de 122.045 toneladas de dióxido de carbono.

Tabela 12 – Potenciais Anuais Brutos de Mitigação de Emissões de CO₂

Segmentos	Tecnologias	Potencial anual bruto de mitigação (tCO ₂)
Vidro oco	Fornos regenerativos	5.152
	Recuperação de calor e geração de eletricidade	656
	Fusão elétrica	34.346
	Oxidcombustão	13.739
	Preaquecimento do caco ou composição	5.740
	Utilização de caco como matéria-prima	5.152
Vidro plano	Fornos regenerativos	15.100
	Recuperação de calor e geração de eletricidade	1.934
	Oxidcombustão	40.226
Cal	Substituição de coque de petróleo por gás natural	371.415
Potencial anual total de mitigação de emissões		493.460

Fonte: Elaborado a partir de IPCC, 2006; ABIVIDRO, 2014; MCTI, 2016

Entretanto, cumpre enfatizar que três atividades de baixo carbono, na prática, são concorrentes, por isso não podem ser implementadas em conjunto: fornos regenerativos, oxidcombustão e fusão elétrica (ABIVIDRO, 2014). Por esse motivo, optou-se por considerar para construção do cenário BC um potencial de redução de emissões associado exclusivamente à implementação da fusão elétrica

no segmento de vidro oco, e oxícombustão no segmento de vidro plano, o que reduz o potencial de mitigação anual de emissões do setor vidreiro para 88.054 tCO₂, e no setor de outras indústrias para 459.469 tCO₂ ao ano (Tabela 13).

Tabela 13 – Potenciais Anuais Líquidos de Mitigação de Emissões de CO₂

Segmentos	Tecnologias	Potencial anual líquido de mitigação (tCO ₂)
Vidro oco	Fornos regenerativos	N.A.
	Recuperação de calor e geração de eletricidade	656
	Fusão elétrica	34.346
	Oxícombustão	N.A.
	Preaquecimento do caco ou composição	5.740
	Utilização de caco como matéria-prima	5.152
Vidro plano	Fornos regenerativos	N.A.
	Recuperação de calor e geração de eletricidade	1.934
	Oxícombustão	40.226
Cal	Substituição de coque de petróleo por gás natural	371.415
Potencial anual total de mitigação de emissões		459.469

N.A.: Atividade de baixo carbono não aplicável em conjunto com a oxícombustão.

Fonte: Elaborado a partir de IPCC, 2006; ABIVIDRO, 2014; MCTI, 2016

Para projetar o consumo de energia e emissões de GEE, relativos ao cenário BC, foram adotadas as mesmas taxas de crescimento que constam da Tabela 6. Também foram mantidas as premissas de participação constante dos combustíveis na matriz de consumo final de energia; eficientização tendencial no consumo de energia de 0,5% ao ano; e fatores de emissão dos combustíveis fósseis e eletricidade da Tabela 7 e da Tabela 8.

Adotou-se o mesmo procedimento adotado no cenário REF para projetar a demanda de energia e emissões de GEE, todavia aplicando os potenciais de redução auferidos a partir da implementação das MTD anteriormente destacadas. Cumpre enfatizar que as tecnologias de baixo carbono do setor vidreiro reduzem o consumo de energia elétrica, enquanto, no setor de cal, ocorre a substituição do coque de petróleo por gás natural. As opções de mitigação não afetam o consumo dos demais insumos energéticos do setor de outras indústrias.

3.2.2 CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE GEE

A implementação das atividades de baixo carbono nos segmentos de cal e vidro resulta na queda da participação da eletricidade, assim como coque de petróleo (abrangido em outras fontes secundárias de petróleo), na matriz energética do setor de outras indústrias. Por outro lado, cresce a participação do gás natural, restando verificar na modelagem integrada do projeto, que será reportada em relatório próprio, se a oferta do insumo encontra restrições de oferta.

De fato, grande parte dos setores industriais encontra no gás natural uma oportunidade de reduzir emissões perante energéticos com maior intensidade de carbono, como é o caso de carvão mineral,

coque de petróleo, óleo diesel e óleo combustível. Todavia, uma análise setorial não observa a disponibilidade de gás natural para todos os setores, competição que, inclusive, afeta os seus preços. Consequentemente, os custos de abatimento da substituição de combustíveis tendem a ser subestimados, e o potencial de mitigação, ao desconsiderar restrições de oferta, é superestimado. Trata-se de uma limitação da análise setorial e da metodologia de custos marginais de abatimento, superada pela integração dos cenários BC nos modelos MSB8000, Otimizagro e Efes.

Tabela 14 – Consumo Energético por Fontes entre 2010 e 2050

Fontes de energia	Consumo de Energia (mil tep) – Cenário BC								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	1.901	2.124	2.204	2.378	2.549	2.741	2.935	3.124	3.305
Carvão vapor	87	97	95	102	110	118	127	135	142
Lenha	874	977	953	1.026	1.106	1.189	1.273	1.354	1.431
Óleo diesel	144	161	157	169	182	196	210	223	236
Óleo combustível	177	198	193	208	224	241	258	274	290
GLP	153	171	167	180	194	208	223	237	251
Querosene	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Eletricidade	3.380	3.777	421	448	496	534	570	605	637
Outras	493	551	2.992	3.171	3.874	4.210	4.615	5.008	5.352
Total	7.210	8.057	7.182	7.680	8.734	9.438	10.211	10.960	11.644

Fonte: Elaboração própria

Tabela 15 – Variação na Participação por Fontes no Consumo de Energia do Cenário BC em relação ao Cenário REF

Fontes de energia	Variação no consumo de energia								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	0,0%	0,0%	4,3%	4,6%	2,8%	2,7%	2,4%	2,1%	2,0%
Carvão vapor	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Lenha	0,0%	0,0%	1,1%	1,2%	0,5%	0,5%	0,3%	0,2%	0,2%
Óleo diesel	0,0%	0,0%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%
Óleo combustível	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
GLP	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Querosene	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Eletricidade	0,0%	0,0%	-1,0%	-1,0%	-1,2%	-1,2%	-1,3%	-1,3%	-1,4%
Outras	0,0%	0,0%	-5,2%	-5,6%	-2,5%	-2,3%	-1,7%	-1,2%	-0,9%

Fonte: Elaboração própria

Quanto ao cenário REF, observa-se queda no consumo de energia de cerca de 8,5%, 9,5% e 1,5% no cenário de BC, em 2025, 2030 e 2050, respectivamente.

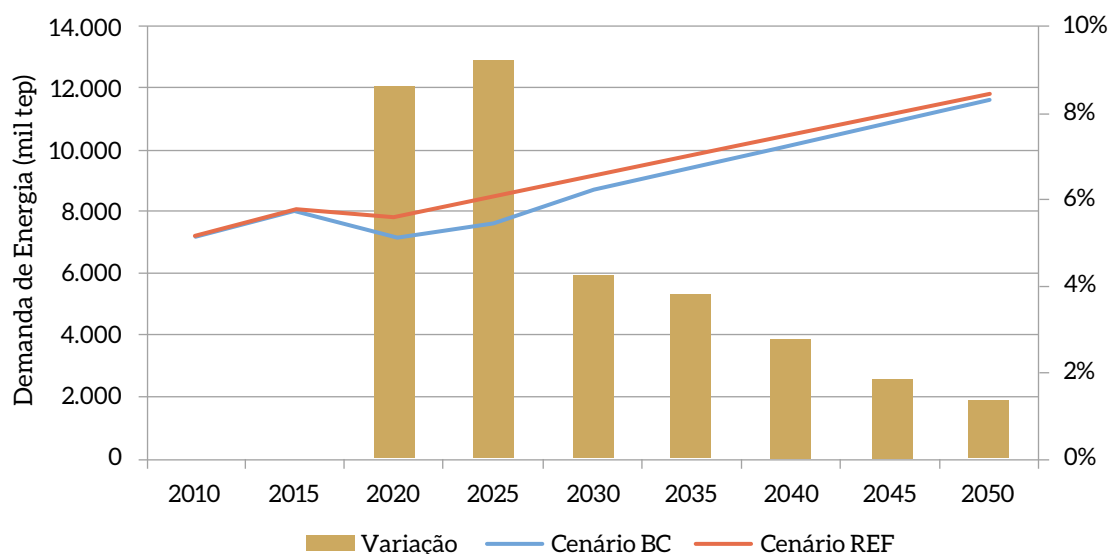


Figura 6 – Consumo Total de Energia e Variação entre os Cenários BC e REF

Fonte: Elaboração própria

No que se refere às emissões de GEE, observa-se queda relativa a eletricidade e outras fontes secundárias de petróleo. A redução nas emissões provenientes do consumo de eletricidade resulta da implementação das MTD no setor vidreiro e em outras fontes secundárias de petróleo em virtude da substituição de coque de petróleo por gás natural no setor de cal.

O potencial de mitigação de emissões da eletricidade do cenário BC, em relação ao cenário REF, se reduz em função do aumento do fator de emissão do grid a partir de 2040.

Tabela 16 – Emissões de GEE entre 2010 e 2050

Fontes de energia	Emissões (MtCO ₂ e) – Cenário BC								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	4,5	5,0	5,2	5,6	6,0	6,5	6,9	7,4	7,8
Óleo diesel	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
Óleo combustível	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9
GLP	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7
Eletricidade	2,0	5,5	1,7	1,7	4,1	4,8	7,1	11,2	15,7
Outras fontes	1,3	1,5	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
Emissões Combustíveis	9,3	13,6	9,6	10,2	13,2	14,7	17,7	22,4	27,6
Emissões de Processo	5,8	6,6	6,5	7,0	7,6	8,2	8,8	9,5	10,0
Total	15,1	20,2	16,1	17,2	20,8	22,9	26,5	31,9	37,6

Fonte: Elaboração própria

Tabela 17 – Variação na Participação das Emissões por Fontes de Energia do Cenário BC em relação ao Cenário REF

Fontes de energia	Variação nas Emissões								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	0,0%	0,0%	5,3%	5,5%	3,9%	3,7%	3,2%	2,6%	2,1%
Óleo diesel	0,0%	0,0%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Óleo combustível	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%
GLP	0,0%	0,0%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%
Eletricidade	0,0%	0,0%	-3,3%	-3,4%	-2,2%	-2,0%	-1,6%	-1,1%	-0,8%
Outras fontes	0,0%	0,0%	-2,6%	-2,8%	-2,2%	-2,1%	-1,9%	-1,7%	-1,5%

Fonte: Elaboração própria

Por fim, o potencial máximo de mitigação de emissões em 2025 (4,1% com relação ao cenário REF). Aparentemente, trata-se de redução relativamente pequena, todavia deve-se considerar que as atividades de cal, gesso e vidro representam cerca de 55% das emissões do setor de outras indústrias. Além disso, a baixa intensidade tecnológica dos processos produtivos de cal e gesso minimizam a potencialidade da adoção de atividades de baixo carbono. No caso do setor vidreiro, o potencial de redução de emissões é significativamente maior, qual seja: de 7% em média entre 2020 e 2050.

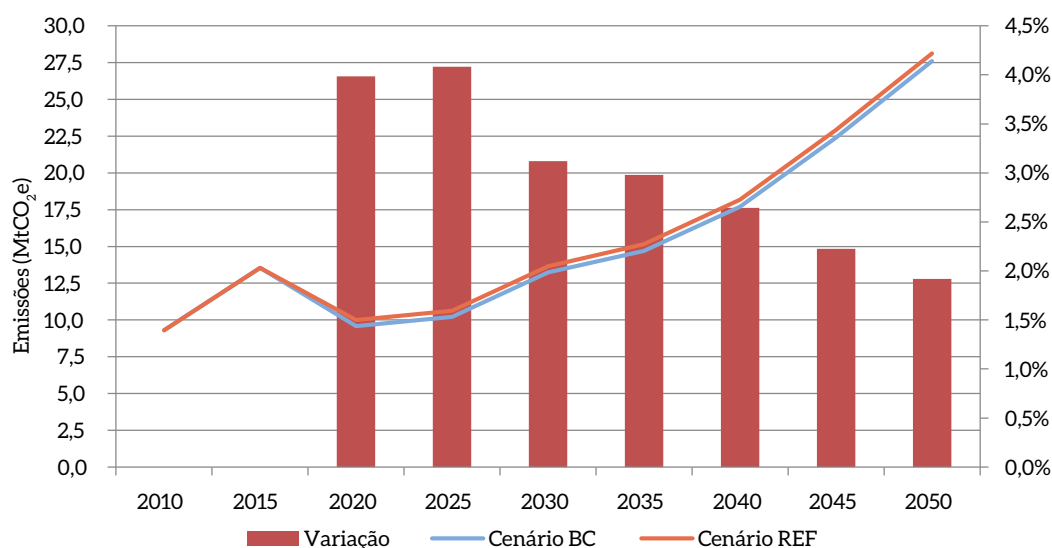


Figura 7 – Emissões Totais por Fontes de Energia e Variação entre os Cenários BC e REF

Fonte: Elaboração própria

3.2.3 CUSTOS MARGINAIS DE ABATIMENTO DE EMISSÕES DE GEE

Nesta seção, são calculados os custos marginais de abatimento (CMA) de algumas das MTD para o setor de outras indústrias, as quais já foram apresentadas no início deste capítulo. Inicialmente, serão descritos os procedimentos metodológicos considerados para calcular os CMA. Em seguida, serão descritas as premissas, em particular, relativas à definição do custo de oportunidade do capital (taxa de desconto) dos setores de cal e vidro. 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.

3.2.3.1 METODOLOGIA

O custo marginal de abatimento 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, que, 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 demanda 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 custo marginal de abatimento leva em conta os investimentos necessários, os custos operacionais em geral (inclusive com os energéticos) e as economias em geral (HALSNAES et al., 1998). Esse custo, para cada opção de mitigação, está determinado a partir do custo incremental com a implementação da medida em comparação com o cenário referencial e das emissões anuais evitadas (SCHAEFFER et al., 2012).

$$CMA^{opção} = \frac{CAL^{baixo\ carbono} - CAL^{base}}{EA^{base} - EA^{baixo\ carbono}}$$

Onde, 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 (SCHAEFFER et al., 2012).

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

Onde, 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.

3.2.3.2 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 utilizadas 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.

Para obtê-la, fez-se consulta aos setores de cal e vidro no final de 2014. Em maio de 2015, especialista do setor de vidro indicou que deveria ser considerada uma taxa única privada de 18% ao ano (DAVID, 2015).⁵ Essa taxa também foi considerada para avaliar o custo da atividade da substituição de combustíveis no setor de cal.

Os parâmetros de emissões dos cenários de REF e BC, assim como potenciais de abatimento das MTD, constam das tabelas 10, 12 e 16.

As tabelas 18 e 19 resumem os parâmetros de custo, vida útil e preços dos combustíveis considerados para obtenção dos custos marginais de abatimento. Deve-se ressaltar que a atualização se fez necessária para as MTD do setor vidreiro por dois motivos: incorporar a taxa de desconto sugerida e abranger o período considerado para adoção das tecnologias no horizonte do projeto, ou seja, de 2020 a 2050.

Como os custos de abatimento geralmente são informados na unidade de dólares americanos por tonelada de dióxido de carbono equivalente (US\$/tCO₂e) e considerando que a principal referência foi o estudo da Abividro (2014), os valores em reais (R\$) foram convertidos pela taxa de câmbio média do dólar em 2014, qual seja: R\$ 2,35 por dólar (BACEN, 2016).

Tabela 18 – Parâmetros de Custo, Vida Útil e Reposição das MTD

Segmentos	Tecnologias	Custo de Capital (US\$)	Custo de O&M (US\$)	Vida Útil (Anos)	Nº de reposições ¹
Vidro oco	Fornos regenerativos	9.670.213	51.574	10	2
	Recuperação de calor e geração de eletricidade	6.382.979	-358.111	20	1
	Fusão elétrica	21.919.149	328.787	7	3
	Oxcombustão	85.106	889.033	10	2
	Preaquecimento do caco ou composição	N.A. ²	596.426	10	2
	Utilização de caco como matéria-prima	2.191.915	167.617	10	2
Vidro plano	Fornos regenerativos	99.896.170	1.554.740	10	2
	Recuperação de calor e geração de eletricidade	9.787.234	-1.372.170	20	2
	Oxcombustão	170.213	2.057.948	10	2
Cal	Substituição de coque de petróleo por gás natural	N.A. ²	415.316	N.A. ²	N.A. ²

1 A partir da vida útil das MTD, e período em análise (30 anos), obtém-se o número de reposições.

2 Não são necessários investimentos na instalação de equipamentos para substituição da carga de fornos no setor de cal e preaquecimento do caco ou composição. No primeiro caso, aplica-se somente a variação de custo, dada pelo preço de aquisição do gás natural perante o coque de petróleo.

Fonte: Elaborado a partir de IPCC, 2006; ABIVIDRO, 2014; MCTI, 2016

⁵ A taxa é superior à adotada em ABIVIDRO (2014), que foi de 10% ao ano.

Tabela 19 – Preços dos Combustíveis

Combustíveis	Unidade	Preço
Gás natural	US\$/m ³	0,65
Coque de petróleo	US\$/bbl	64,17
Lenha	US\$/m ³	27,46
Óleo diesel	US\$/litro	1,06
Óleo combustível	US\$/litro	0,53
GLP	US\$/kg	1,97
Querosene	US\$/litro	0,00
Eletricidade	US\$/MWh	147,85

Fonte: Elaborado a partir de EPE, 2016a

3.2.3.3 RESULTADOS

Com base nos dados citados, foram calculados os custos de abatimento para cada medida, bem como seus potenciais de abatimento de 2020 a 2050, para a taxa de desconto de 18% ao ano (Tabela 20).

Tabela 20 – Potenciais e Custos Marginais de Abatimento

Atividades de baixo carbono (Segmento)	Potencial acumulado bruto de mitigação (tCO ₂ e)	Custo Marginal de Abatimento (US\$/tCO ₂ e)
Fornos regenerativos (vidro oco)	159.712	213,2
Recuperação de calor (vidro oco)	20.336	292,2
Fusão elétrica (vidro oco)	1.064.726	105,6
Oxicombustão (vidro oco)	425.909	45,2
Preaquecimento do caco (vidro oco)	177.940	132,1
Utilização de caco como matéria-prima (vidro oco)	159.712	63,8
Fornos regenerativos (vidro plano)	468.100	899,6
Recuperação de calor (vidro plano)	59.954	-53,9
Oxicombustão (vidro plano)	1.247.006	41,4
Substituição de coque por gás natural (cal)	11.470.000	1,15

Fonte: Elaboração própria

É possível perceber que todas as medidas, com exceção da recuperação de calor no segmento de vidro plano, têm custo de abatimento positivo. Portanto, conclui-se de 99% do potencial de abatimento é inviável sob o ponto de vista econômico.

Todavia, mesmo que as medidas fossem viáveis economicamente, isso não significaria que poderiam ser implementadas, uma vez que barreiras não econômicas, como deficiências regulatórias, aspectos comportamentais, entre outras, podem estar presentes. Mais do que isso, até mesmo barreiras econômicas não captadas nos custos de abatimento podem impedir a adoção das atividades, como é o caso dos custos de transação, disponibilidade de crédito para realização dos investimentos e conjuntura econômica. Tais aspectos serão brevemente analisados no capítulo 4.

Cumprе ressaltar que, em função das medidas não aditivas, fez-se necessário obter o potencial acumulado líquido de mitigação de emissões, conforme Tabela 21. Assim, pôde-se obter a curva de custos marginais de abatimento para adoção das MTD pelos setores de cal e vidro. 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 14,2 MtCO₂. Entretanto, esse potencial de abatimento não representa o potencial líquido de redução de emissões do setor outras indústrias. 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.

Tabela 21 – Potenciais e Custos Marginais de Abatimento

Atividades de baixo carbono (Segmento)	Potencial acumulado líquido de mitigação (tCO ₂ e)	Custo Marginal de Abatimento (US\$/tCO ₂ e)
Recuperação de calor (vidro plano)	59.954	-53,9
Substituição de coque por gás natural (cal)	11.470.000	1,15
Oxicombustão (vidro plano)	1.247.006	41,4
Utilização de caco como matéria-prima (vidro oco)	159.712	63,8
Fusão elétrica (vidro oco)	1.064.726	105,6
Preaquecimento do caco (vidro oco)	177.940	132,1
Recuperação de calor (vidro oco)	20.336	292,2

Fonte: Elaboração própria

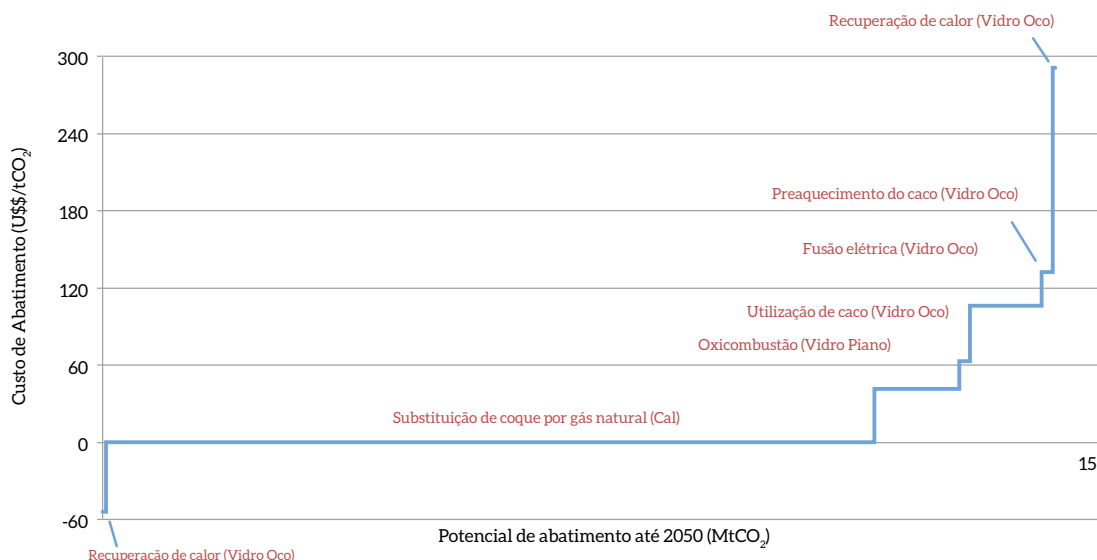
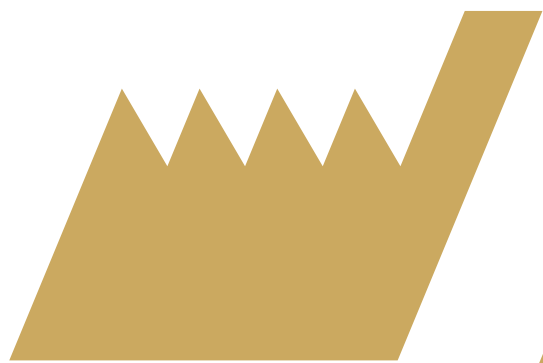


Figura 8 – Curva de Custos Marginais de Abatimento

Fonte: Elaboração própria



Instrumentos de política pública aplicáveis ao setor outras indústrias para implementação do cenário de baixo carbono

Capítulo

4

4 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA APLICÁVEIS AO SETOR OUTRAS INDÚSTRIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DO CENÁRIO DE BAIXO CARBONO

Perante o mapeamento das oportunidades de mitigação para o setor, esse capítulo, inicialmente, objetiva analisar as barreiras a sua aplicação enquanto estratégia de baixo carbono. Partindo desse mapeamento, que também considera experiências nacionais e internacionais com a aplicação de políticas públicas relacionadas à temática, serão propostos mecanismos de política pública capazes de incentivar a penetração das medidas mapeadas no âmbito do cenário BC.

A Tabela 22 resume custos e potenciais de abatimento dos cenários BC do setor de outras indústrias. O potencial de abatimento de emissões de GEE acumulado para o setor é de aproximadamente 14,2 MtCO₂e, com um custo total de implementação de US\$ 213,7 milhões.

Tabela 22 – Potenciais e Custos de Abatimento de Emissões

Atividades de Baixo Carbono (Segmento)	Potencial Acumulado de Mitigação (tCO ₂ e)	Custo Marginal de Abatimento (US\$/tCO ₂ e)	Custo Total de Abatimento (US\$ milhões)
Recuperação de calor (vidro plano)	59.954	-53,9	-3,2
Substituição de coque por gás natural (cal)	11.470.000	1,15	13,2
Oxcombustão (vidro plano)	1.247.006	41,4	51,6
Utilização de caco como matéria-prima (vidro oco)	159.712	63,8	10,2
Fusão elétrica (vidro oco)	1.064.726	105,6	112,4
Preaquecimento do caco (vidro oco)	177.940	132,1	23,5
Recuperação de calor (vidro oco)	20.336	292,2	5,9
Total	14.199.674	-	213,7

Fonte: Elaborado própria

Analisando-se a Tabela 20, pode-se ainda verificar o significativo custo para a implementação das medidas, o que indica barreiras econômicas a sua adoção. Mais do que isso, algumas medidas também enfrentam barreiras regulatórias, comportamentais e tecnológicas, entre outras, que exigem a formulação de instrumentos de política pública para removê-las. Para mapear esses aspectos de natureza qualitativa, 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 IDENTIFICAÇÃO DE BARREIRAS E COBENEFÍCIOS À IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE BAIXO CARBONO NO SETOR

No presente estudo, assim como em Bergh (2012), as barreiras são categorizadas em: econômicas e de mercado; regulatórias e institucionais; comportamentais e informacionais; e tecnológicas.

Conforme se pôde verificar no cenário BC, quase todas as medidas aplicáveis para mitigar emissões de GEE no setor têm custos marginais de abatimento positivos. 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 para investimentos em eficiência energética. Essas restrições são percebidas em termos da disponibilidade de capital no mercado financeiro, bem como no aumento da taxa de juros por meio dos quais os financiamentos são realizados. Além disso, existe assimetria no acesso ao crédito associado ao porte das empresas, o que inibe a realização de investimentos em ações de eficiência energética por pequenas empresas, bem como custos de transação que precisariam ser removidos para a realização de investimentos intensivos em tecnologia. Finalmente, a recessão afeta a renda das famílias e, consequentemente, a demanda por produtos dos segmentos de cal, gesso e vidro, o que dificulta a realização de investimentos em ampliação e 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. É comum que os recursos disponíveis sejam, prioritariamente, aplicados para a expansão de atividades produtivas que trariam impactos sobre o faturamento no curto prazo (BERGH, 2012) em detrimento das ações de baixo carbono mapeadas neste estudo, as quais revelaram não ter, em sua maioria, viabilidade econômica eficiência energética.

Outra barreira econômico-financeira está associada ao encarecimento da importação de tecnologias, dado pelo atual patamar da taxa de câmbio do real com relação ao dólar e ao euro. Em função disso, a realização de investimentos em eficiência, associada à importação de equipamentos, exigiria altas taxas internas de retorno. Esse seria o caso das tecnologias de recuperadores de calor, unidades de cogeração e oxícombustão, as quais não se encontram disseminadas no Brasil (ABIVIDRO, 2014).

Em termos mercadológicos, estão presentes barreiras à implementação da oxiconsumo e substituição de combustíveis, inerentes à falta de garantia de suprimento de oxigênio puro e gás natural, respectivamente.

Ao nível institucional e regulatório, a obtenção de crédito para o financiamento em 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. Além do custo de transação relacionado às inúmeras exigências processuais e documentais para o acesso ao crédito, em particular por bancos de fomento, destaca-se que pequenas empresas do setor têm dificuldade na elaboração de projetos, com restrição de mão de obra qualificada para esse propósito (SORREL et al., 2004). No caso da utilização de caco de vidro como matéria-prima, a principal barreira advém da falta de garantia de suprimento, para o qual é fundamental a plena implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A atual conjuntura econômica tem limitado a capacidade de municípios cumprirem as metas e atividades compreendidas na PNRS, como é o caso da coleta seletiva de lixo.

Ainda no âmbito regulatório, a inexistência de estabelecimento de padrões de emissões para o consumo de combustíveis fósseis se constitui em barreira à implementação de atividades de baixo carbono, como é o caso da substituição de coque de petróleo por gás natural no setor de cal. E, no caso da utilização de caco como matéria-prima, a inexistência de arranjos comerciais regulatórios adequados para promover a reciclagem do vidro, em particular em municípios de médio e pequeno porte, também constitui relevante barreira para a adoção da atividade no setor vidreiro. Por fim, no caso da cogeração de energia, existe a barreira de mercado decorrente da não obrigatoriedade de as distribuidoras comprarem a energia excedente e, quando o fazem, o preço pago pela energia é geralmente baixo.

Em termos comportamentais e informacionais, muitos atores do setor industrial desconhecem a relação custo-benefício das medidas que resultam em eficiência energética, como é o caso da recuperação de calor; fusão elétrica; oxiconsumo; e preaquecimento do caco ou composição. E, mesmo diante do conhecimento dos benefícios, é comum inexistir pessoal técnico capacitado para identificar, implementar e monitorar as referidas medidas (UNIDO, 2011; BERGH, 2012), em particular em unidades industriais de pequeno porte. No caso da utilização de caco como matéria-primeira, há uma barreira informacional que decorre da inexistência de estudos que avaliem a capacidade de captação e os custos vinculados a essa atividade no Brasil.

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. No caso da cogeração, por exemplo, observa-se a complexidade associada a instalação, manutenção e monitoramento das unidades. Além disso, não necessariamente, é possível

a incorporação de novas tecnologias nos processos produtivos do setor vidreiro, 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. Tecnologias importadas comumente não estão adaptadas para atender as especificidades dos processos produtivos locais, o que pode retardar ou impedir sua introdução, inviabilizando ganhos em termos de produtividade e economia de energia (CURRÁS, 2010).

No caso da fusão elétrica, observa-se como barreira a não aplicabilidade a fornos com grande capacidade de produção diária, como os que são utilizados no segmento de vidro plano. Por sua vez, a utilização de caco como matéria-prima apresenta barreiras relacionadas com a qualidade de vidro. Tipicamente, vidro de má qualidade tende a comprometer a vida útil do forno (ABIVIDRO, 2014). Finalmente, o preaquecimento do caco ou composição é uma atividade viável apenas em misturas com mais de 50% de caco na composição.

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; entre outros.

4.2 SÍNTESE DE EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS E NACIONAIS COM POLÍTICAS PÚBLICAS 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 9, 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 pelos setores de cal e vidro, é necessário avançar na proposição de instrumentos econômico-financeiros e regulatórios para viabilizar a transição dessas atividades para uma economia de baixo carbono.

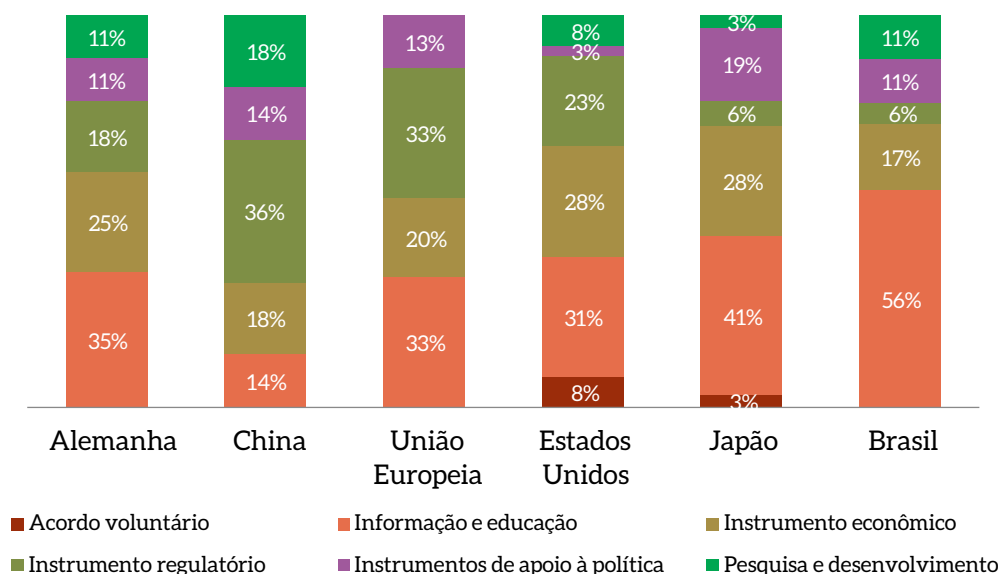


Figura 9 – Instrumentos Utilizados por Países para Promover a Eficiência Energética na Indústria

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 (CTPI), 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 em 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 CTPIn;

- 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 o 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 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA ADOÇÃO DO CENÁRIO DE BAIXO CARBONO DO SETOR DE OUTRAS INDÚSTRIAS

Esta seção objetiva apresentar a proposta de instrumentos de política pública que poderiam ser criados ou aprimorados com vistas a estimular, por meio da remoção de barreiras, a adoção das MTD nos setores de cal e vidro. Interessante notar que grande parte dos instrumentos já faz parte do Plano Indústria, todavia a ausência de/ou parcial implementação justifica a inclusão neste estudo.

4.3.1 INSTRUMENTOS ECONÔMICOS E DE MERCADO

Historicamente, a disponibilização de crédito e subvenções econômicas está associada às políticas fiscal e monetária, instrumentos utilizados para o controle da inflação. Por esse motivo, é relevante que o incentivo à transição para uma economia de baixo carbono no setor seja menos dependente dos mecanismos econômicos de políticas públicas tradicionais.

Entretanto, à luz da assimetria no acesso ao crédito, seria necessária a captação de recursos adicionais aos disponibilizados pelo Fundo Clima. Inicialmente, seria necessário que o sistema creditício buscasse alternativas de alavancagem financeira. Para tanto, os organismos gestores deveriam procurar recursos junto ao Green Climate Fund (GCF), ao Global Environmental Facility (GEF) e ao Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). 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.

A linha de financiamento do Finem – Eficiência Energética do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) – poderia custear, com taxas subsidiadas de juros, a aquisição de equipamentos de baixo carbono pelo setor, como é o caso dos fornos de fusão elétrica e da oxcombustão. Esse incentivo permitiria viabilizar a adoção de atividades de baixo carbono inviáveis sob o ponto de vista econômico à taxa de desconto de 18% ao ano. Inicialmente, deveria ser criada, pelo BNDES, a linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”. E, finalmente, a partir de 2025, a precificação de carbono poderia servir de incentivo à viabilização das atividades com custo marginal de abatimento positivo.

A adoção dessa medida exigiria a mobilização de atores do BNDES, bancos comerciais e Ministério da Fazenda (MF), e sua implementação 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 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 no setor. Para tornar o instrumento eficiente, o MF poderia prever, com atribuições para o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), que a desoneração fosse acompanhada de contrapartidas tecnológicas e sociais, quais sejam: o estabelecimento de metas de eficiência 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.

Considerando que as MTD propostas seriam implementadas a partir de 2020, os instrumentos precisam ser adotados no médio prazo.

4.3.2 INSTRUMENTOS REGULATÓRIOS E INSTITUCIONAIS

Tais instrumentos objetivam minimizar barreiras relacionadas à burocracia existente para aquisição de crédito em instituições financeiras, as quais solicitam documentos e projetos que podem afastar o interessado pela aplicação de uma atividade de baixo carbono, entre outros aspectos. 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.

Um critério relevante que deve ser respeitado, em particular para financiamento de equipamentos, é a elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica. Em função da dificuldade que muitas empresas do setor enfrentam em termos de mão de obra qualificada para esse propósito, poderiam ser criadas parcerias público-privadas para treinamentos na realização de projetos técnico-financeiros de processos de baixo carbono. Para tanto, poderiam ser firmados convênios, a partir de 2018, entre Abividro, ABPC, MDIC e MCTIC para a realização das atividades.

Com vistas a promover uma cultura organizacional voltada para ações de eficiência energética, poderia ser implementado um mecanismo de auditoria energética no setor. Este seria um pré-requisito para empresas que desejam acessar mecanismos de crédito oferecidos por bancos públicos de fomento, e sua implementação seria regulamentada pelo MF e monitorada pelo MDIC, com suporte técnico da Abividro.

É fundamental o acompanhamento visando ao cumprimento das metas da PNRS com vistas a garantir oferta constante de caco para o setor vidreiro. Idealmente, o repasse do Fundo de Participação Municipal deveria exigir contrapartidas em relação ao cumprimento das políticas públicas vigentes. Este é o caso da coleta seletiva de lixo, que deve ser obrigatória para municípios com população superior a 500 mil habitantes, o que aumentaria significativamente a oferta de resíduos de vidro. Para tanto, faz-se necessário mobilizar prefeituras, MMA e cooperativas de reciclagem.

Adicionalmente, é importante a criação de instrumento voltado à substituição de equipamento no final da vida útil. Neste sentido, poderia ser elaborado um programa de depreciação obrigatória de fornos, com contrapartida relacionada a condições facilitadas de taxa de juros e análise simplificada de crédito no âmbito da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”. Para tanto, é relevante o envolvimento do MDIC, associações representativas dos setores industriais e BNDES. Trata-se de uma medida que poderia ser implementada a partir de 2020.

Finalmente, 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 setorial. 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, vem desenvolvendo uma série de atividades com esse propósito, as quais poderiam ser ampliadas junto ao setor por meio do estabelecimento de acordo de cooperação técnica entre MDIC, MCTIC, Abividro, ABPC, CNI e Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

Esses instrumentos, assim como os econômicos e mercadológicos, também poderiam ser implementados no médio prazo.

4.3.3 INSTRUMENTOS COMPORTAMENTAIS E INFORMACIONAIS

Para a superação dessas barreiras, os instrumentos de políticas públicas devem buscar a minimização da resistência existente no setor à entrada de novas tecnologias. Em particular, a aversão à mudança nos processos produtivos tradicionais, assim como o desconhecimento dos benefícios econômicos, sociais e ambientais das tecnologias de baixo carbono, poderia ser superada por meio de ações de conscientização e capacitação, segundo o modelo de acordo de cooperação técnica anteriormente mencionado.

Um parceiro relevante, em particular no que se refere à superação de barreiras 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.

Em função da baixa complexidade dos instrumentos de política pública propostos, os quais constam do Quadro 1, o horizonte de implementação poderia ser de curto prazo.

4.3.4 INSTRUMENTOS TECNOLÓGICOS

A aplicação de instrumentos de políticas públicas para remoção de barreiras tecnológicas, em particular, deve estar voltada para acelerar a penetração de tecnologias de baixo carbono. Um instrumento transversal a todas as atividades de baixo carbono propostas seria a realização de atividades de capacitação para atores elaborarem projetos a serem apresentados ao Climate Technology Centre Network (CTCN), com vistas a estudar a aplicabilidade das MTD ao nível de plantas industriais.

Adicionalmente, deve-se incentivar a realização de estudos acerca do potencial de evolução da mistura de caco na composição e a aplicabilidade da fusão elétrica a fornos de menor porte. Os principais atores para promoção desses instrumentos seriam o MCTIC, a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e as associações setoriais. Deveria ser uma atividade contínua, a ser implementada no curto prazo.

4.3.5 SÍNTESE DOS INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PROPOSTOS

O Quadro 1 descreve os instrumentos de política pública propostos para adoção das MTD pelos setores de cal e vidro. Cumpre enfatizar 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 1 – Quadro-resumo de Medidas, Barreiras e Instrumentos de Política Pública para Adoção das MTD

Medidas (Setor)	Barreiras	Instrumentos
Recuperação de calor (vidro oco)	• Ausência de viabilidade econômica; • Assimetria, falta e altos custos de acesso ao crédito; • Conjuntura econômica; • Competição com outros investimentos; • Custo da importação; • Dificuldade na elaboração de projetos; • Inexistência de garantia para compra da energia excedente; • Ausência de padrão de emissões e <i>benchmark</i> para o setor; • Falta de conhecimento sobre as vantagens da eficiência energética; • Resistência à substituição de equipamentos por aversão a mudança, risco de desemprego e complexidade operacional; • Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias; • Restrição à instalação pelo <i>layout</i> da planta.	• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial); • Criação de um programa de depreciação obrigatória de fornos; • Criação da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”; • Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas; • Estabelecimento de padrões máximos de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas; • 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; • Elaboração de contratos e seguros com vistas a garantir a compra da energia excedente; • Estabelecimento de 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; • Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas e financiamento para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética; • Capacitação de atores para a elaboração de projetos a serem apresentados ao Climate Technology Centre Network (CTCN), com vistas a estudar a aplicabilidade das MTD ao nível de plantas industriais.

Medidas (Setor)	Barreiras	Instrumentos
Fusão elétrica (vidro oco)	• Ausência de viabilidade econômica; • Assimetria, falta e altos custos de acesso ao crédito; • Conjuntura econômica; • Competição com outros investimentos; • Custo elevado da energia elétrica; • Dificuldade na elaboração de projetos; • Ausência de padrão de emissões e <i>benchmark</i> para o setor; • Falta de conhecimento sobre as vantagens da efficientização energética; • Resistência à substituição de equipamentos por aversão a mudança, risco de desemprego e complexidade operacional; • Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias; • Restrição à instalação pelo <i>layout</i> da planta; • Aplicabilidade restrita a fornos de grande capacidade.	• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial); • Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas; • Criação da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”; • Estabelecimento de padrões máximos de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas; • Criação de instrumentos de precificação de carbono; • 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; • Estabelecimento de 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; • Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas e financiamento para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética; • Capacitação de atores para a elaboração de projetos a serem apresentados ao Climate Technology Centre Network (CTCN), com vistas a estudar a aplicabilidade das MTD ao nível de plantas industriais.
Preaquecimento do caco (vidro oco)	• Ausência de viabilidade econômica; • Assimetria, falta e altos custos de acesso ao crédito; • Conjuntura econômica; • Competição com outros investimentos; • Dificuldade na elaboração de projetos; • Ausência de padrão de emissões e <i>benchmark</i> para o setor; • Falta de conhecimento e de capacidade para conhecimento sobre as vantagens da efficientização energética; • Restrição a misturas com menos de 50% de caco na composição.	• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial); • Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas; • Criação da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”; • Estabelecimento de padrões máximos de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas; • Criação de instrumentos de precificação de carbono; • 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; • Estabelecimento de 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; • Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas e financiamento para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética; • Destinação de recursos públicos ao CNPq para realização de estudos acerca do potencial de evolução da mistura de caco na composição.

Medidas (Setor)	Barreiras	Instrumentos
Utilização de caco como matéria-prima (vidro oco)	• Ausência de viabilidade econômica; • Altos custos de acesso ao crédito para logística reversa; • Conjuntura econômica; • Dificuldade na elaboração de projetos; • Falta de garantia de suprimento; • Ausência de padrão de emissões e <i>benchmark</i> para o setor; • Falta de arranjos comerciais regulatórios adequados para promover a reciclagem do vidro; • Inexistência de estudos que avaliem a capacidade de captação e custos da utilização do caco; • Má qualidade do caco.	• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial); • Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas; • Criação de fundos de investimento específicos para eficiência energética; • Criação da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”; • Exigência de contrapartida de municípios com mais de 500 mil habitantes acerca da coleta seletiva de lixo para repasse do Fundo de Participação Municipal; • Incentivo à criação de cooperativas de coleta e separação seletiva dos resíduos sólidos urbanos; • Realização de parcerias entre o governo federal e municípios, visando à capacitação de cooperativas de trabalhadores para realizarem a coleta e separação adequado dos resíduos; • Condicionamento da concessão de isenções e incentivos fiscais aos estados e municípios à implementação de contrapartidas de gestão de baixo carbono dos resíduos sólidos urbanos; • Estabelecimento de padrões máximos de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Elaboração de contratos e seguros de fornecimento; • Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas; • Criação de instrumentos de precificação de carbono; • 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; • Estabelecimento de 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; • Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas e financiamento para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética.

Medidas (Setor)	Barreiras	Instrumentos
Recuperação de calor (vidro plano)	• Ausência de viabilidade econômica; • Assimetria, falta e altos custos de acesso ao crédito; • Conjuntura econômica; • Competição com outros investimentos; • Custo da importação; • Inexistência de garantia para compra da energia excedente; • Falta de conhecimento sobre as vantagens da aplicação da tecnologia de recuperação de calor; • Dificuldade na elaboração de projetos; • Ausência de padrão de emissões e <i>benchmark</i> para o setor; • Inexistência de garantia para compra da energia excedente; • Falta de conhecimento sobre as vantagens da eficiência energética; • Resistência à substituição de equipamentos por aversão a mudança, risco de desemprego e complexidade operacional; • Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias; • Restrição à instalação pelo <i>layout</i> da planta.	• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial); • Criação de um programa de depreciação obrigatória de fornos; • Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas; • Estabelecimento de padrões máximos de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Elaboração de contratos e seguros com vistas a garantir a compra da energia excedente; • Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas; • 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; • Estabelecimento de 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; • Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas e financiamento para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética; • Capacitação de atores para a elaboração de projetos a serem apresentados ao Climate Technology Centre Network (CTCN), com vistas a estudar a aplicabilidade das MTD ao nível de plantas industriais.
Oxcombustão (vidro plano)	• Ausência de viabilidade econômica; • Alto custo do oxigênio industrial; • Conjuntura econômica; • Competição com outros investimentos; • Falta de garantia de suprimento de oxigênio puro; • Dificuldade na elaboração de projetos; • Ausência de padrão de emissões e <i>benchmark</i> para o setor; • Falta de conhecimento sobre as vantagens da eficiência energética; • Resistência à substituição de equipamentos por aversão a mudança, risco de desemprego e complexidade operacional; • Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias; • Restrição à instalação pelo <i>layout</i> da planta.	• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial); • Criação de um programa de depreciação obrigatória de fornos; • Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas; • Criação da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”; • Estabelecimento de padrões máximos de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas; • Criação de instrumentos de precificação de carbono; • 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; • Estabelecimento de 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; • Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas e financiamento para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética; • Capacitação de atores para a elaboração de projetos a serem apresentados ao Climate Technology Centre Network (CTCN), com vistas a estudar a aplicabilidade das MTD ao nível de plantas industriais.

Medidas (Setor)	Barreiras	Instrumentos
Substituição de coque por gás natural (cal)	• Falta de garantia de suprimento de gás natural; • Dificuldade na elaboração de projetos; • Ausência de padrão de emissões e <i>benchmark</i> para o setor; • Falta de conhecimento sobre as vantagens da substituição de combustíveis.	• Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos (criação de Selo de Eficiência Industrial); • Obrigatoriedade da realização de inventário de equipamentos industriais e auditorias energéticas; • Estabelecimento de padrões máximos de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Elaboração de contratos e seguros de fornecimento; • Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas; • 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; • Estabelecimento de 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; • Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas e financiamento para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética.

The background features a large, solid gold shape that resembles a stylized letter 'L' or a corner. In the upper left, there is a smaller gold shape with a jagged, sawtooth-like top edge. At the bottom right, a light beige parallelogram is partially visible. The text 'Considerações finais' is written in white, sans-serif font in the lower-left area of the gold shape.

Considerações
finais

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo objetivou identificar possibilidades de mitigação de emissões para o setor de outras indústrias para estimar potenciais e custos de abatimento (cenário BC) perante um cenário referencial. Adicionalmente, foram avaliados barreiras, cobenefícios e potenciais instrumentos de política pública capazes de viabilizar a adoção das MTD.

Em função da representatividade em face das emissões setoriais, foram avaliadas oportunidades de redução de emissões nos setores de gesso, vidro e cal, sendo o cenário de baixo carbono e, consequentemente, a proposta de política públicas para sua adoção construídos exclusivamente em MTD aplicáveis aos segmentos de cal e vidro.

Considerando os resultados obtidos, nota-se que o setor de outras indústrias apresenta moderado potencial para abatimento de emissões de GEE. Há um potencial máximo de redução em 2025, qual seja, 4,3% em relação ao cenário REF. Aparentemente, trata-se de redução relativamente pequena, todavia deve-se considerar que as atividades de cal, gesso e vidro representam apenas cerca de 50% das emissões do setor de outras indústrias. Além disso, a baixa intensidade tecnológica dos processos produtivos de cal e gesso minimizam a potencialidade da adoção de atividades de baixo carbono. No caso do setor vidreiro, o potencial de redução de emissões é significativamente maior, qual seja, de 7% em média entre 2020 e 2050.

Apesar de haver uma matriz elétrica predominantemente elétrica, que em virtude do baixo fator de emissão do *grid* nacional reduz a capacidade de o setor mitigar liberações de GEE, observa-se potencial acumulado de redução de emissões de 14,2 MtCO₂e, com custo total de implementação de US\$ 213,7 milhões. Nota-se que a medida com maior potencial é a substituição de coque por gás natural no setor de cal, totalizando um potencial de 11,5 MtCO₂e. O custo total para aplicação dessa medida é relativamente baixo, de US\$ 13,2 milhões.

Para a aplicação dessa medida, as principais barreiras são falta de garantia de suprimento de gás natural, ausência de padrão de emissões e *benchmark* para o setor e falta de conhecimento sobre as vantagens da substituição de combustíveis. Interessantemente, trata-se de barreiras com menor complexidade de remoção, para as quais seriam fundamentais a elaboração de contratos e seguros de fornecimento de gás natural e o estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para equipamentos por meio da criação de Selo de Eficiência Industrial.

No setor vidreiro, a recuperação de calor e geração de eletricidade, em nível de produção de vidro plano, apresenta custo de abatimento negativo, porém pequeno potencial de mitigação. A

principal atividade mitigadora, qual seja, a oxidação no segmento de vidro plano, por outro lado, apresenta custo de abatimento significativamente maior, de US\$ 41,4/tCO₂e. Além disso, há uma série de barreiras que precisariam ser removidas, dentre as quais podem-se destacar: alto custo do oxigênio industrial, conjuntura econômica e restrição à instalação pelo *layout* da planta. Por esses motivos, os formuladores de política devem ter cautela caso queiram estabelecer metas de redução de emissões para o setor vidreiro.

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 outras indústrias. 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 mais fidedigna o potencial de mitigação do setor.

Outra limitação deste estudo 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 de prazo do recente contexto econômico nacional. Esta tem resultados reportados no documento intitulado “Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono”.

The background features abstract geometric shapes in gold and tan. A large gold shape occupies the upper right and middle sections. A smaller gold shape with a serrated top edge is in the upper left. A tan parallelogram is in the bottom right corner. The word "Referências" is written in white serif font in the bottom left area of the gold shape.

Referências

REFERÊNCIAS

ARMELLINI, C.; FERNANDES, D. *Utilização da sucata de vidro para a produção de novos produtos*. 2015. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/2004/artigos/48cbc-13-08.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTOS DE CAL – ABPC (Brasil). *O setor da cal no Brasil*. 2012. Disponível em: <<http://www.abpc.org.br/frame.htm>>. Acesso em: 16 mar. 2012.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO – ABIVIDRO (Brasil). *Site*. 2012. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/index.php/128>>. Acesso em: 16 abr. 2012.

_____. *Estratégia de baixo carbono para a indústria brasileiro de vidro*. MGM Innova, CNI/ABIVIDRO, 2014.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA CIENTÍFICA ERNESTO LUIZ DE OLIVEIRA – ATECEL (Brasil). *Diagnóstico energético do setor industrial do polo gesseiro da mesorregião de Araripina-PE*. Campina Grande, 2006, 126p.

BAUKAL, C. E. *Heat transfer in industrial combustion*. Nova Iorque: CRC Press LLC, 2000.

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 mar. 2012.

BRASIL. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. *Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para economia de baixo carbono*. Brasília: ABDI, 2012.

BRASIL. Banco Central do Brasil – BACEN. *Taxas de câmbio*. 2016. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpsq.asp?id=txcotacao>>. Acesso em: 12 jan. 2015.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. *Balanco Energético Nacional 2015: Ano-base 2014*. Brasília: EPE, 2015.

_____. *Balanco Energético Nacional 2016: Ano-base 2015*. Brasília: EPE, 2016a.

_____. *Plano Nacional de Energia – PNE 2050. Demanda de energia 2050*. 2016b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI. *Inventário brasileiro de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal*. Brasília: MCTI, 2010.

_____. *Fatores de emissão de CO₂ do Sistema Interligado Nacional do Brasil*. 2014. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>>. Acesso em: 13 dez. 2014.

_____. *Fatores de emissão de CO₂ do Sistema Interligado Nacional do Brasil*. 2015. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>>. Acesso em: 4 jan. 2016.

_____. *Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima* – Volume II. Brasília: MCTI, 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC. *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*. 2017. 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.

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

_____. *Desenvolvimento de estudos para elaboração do Plano Duodecenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral*. 2015. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P23_RT33_Perfil_de_Rochas_Ornamentais_e_de_Revestimento.pdf/d6f58aa1-b01a-4da1-a178-e6052b2fc8e5>. Acesso em: 18 ago. 2015.

_____. *Sumário mineral 2014 – Cal*. Brasília: DNPM, 2014a.

_____. *Sumário mineral 2014 – Gipsita*. Brasília: DNPM, 2014b.

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.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. *Plano de redução de emissões de fontes estacionárias* – Guia de melhor tecnologia prática disponível para produção de vidro. 2014. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2015/12/Guia-MTPD-Vidro.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI (Brasil). *Oportunidades de eficiência energética para a indústria*: Relatório setorial: cal e gesso. Brasília: CNI, 2010a.

_____. *Oportunidades de eficiência energética para a indústria*: Relatório setorial: setor vidreiro. Brasília: CNI, 2010b.

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.

DAVID, S. Entrevista concedida a Régis Rathmann. Brasília, 29 mai. 2015.

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.

FRISCH VERRER. Rigor de processo na redução dos consumos. 2016. Disponível em: <http://abceram.org.br/mala-direta/abc/etvidreiro-2016/palestras/19.10.2016/11-pierre_frisch.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2016.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS – ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS DE SÃO PAULO – FGV/EAESP. *Propostas para implementação do plano indústria de baixo carbono* – Eficiência energética na indústria. São Paulo: Centro de Estudos em Sustentabilidade da FGV/EAESP, 2015.

GESSO FÁCIL. *A produção de gesso e sua tecnologia*. 2015. Disponível em: <<http://www.gesso facil.com/a-producao-do-gesso-e-sua-tecnologia/>>. Acesso em: 29 jan. 2015.

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/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.; CALLAWAY, J. M.; MEYER, H. J. *Economics of greenhouse gas limitations – Methodological guidelines*. 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 Ciências do Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P. *Fundamentos de transferência de calor e de massa*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003.

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

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. *Tracking industrial energy efficiency and CO₂ emissions*. Paris: IEA, 2007.

_____. *Energy technology perspectives 2015*. Paris: IEA, 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT (Brasil). *Conservação de energia na indústria do vidro: manual de recomendações*. São Paulo: IPT, 1983.

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.

REZENDE et al. *Indústrias do vidro*. 2011. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAepOMAH/industrias-viidro>>. Acesso em: 17 out. 2011.

SCHAEFFER et al. *Cenário integrado de baixo carbono*. Subprojeto de modelagem integrada. Projeto Opções de Mitigação de Emissões de GEE em Setores-Chave no Brasil. Brasília: MCTI, 2012.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO GESSO DO ESTADO DE PERNAMBUCO – SINDUSGESSO. *Polo gesso*. 2012. Disponível em: <<http://www.sindusgesso.org.br/servicos.asp>>. Acesso em: 16 abr. 2012.

SORRELL, S. et al. *The economics of energy efficiency: Barriers to cost-effective investment*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing Ltd, 2004.

TONETO, R.; PINHO, M. *Economia de baixo carbono: impactos de novos marcos regulatórios e tecnologias sobre a economia brasileira*. Ribeirão Preto: FUNPEC Editora, 2014.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION – UNIDO. *Policy options to overcome barriers to industrial energy efficiency in developing countries*. Viena: Unido, 2011.

WORLD BANK. *Overview Brazil*. 2016. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/en/country/brazil/overview>>. Acesso em: 13 mar. 2016.

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

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.

