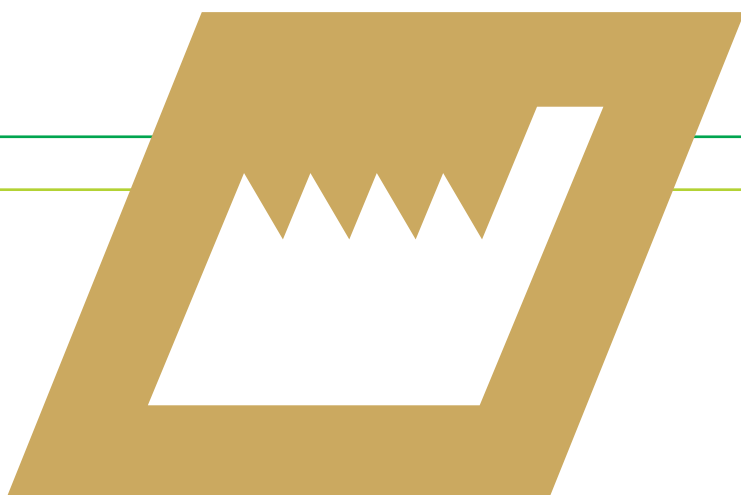




*Opções de Mitigação de Emissões  
de Gases de Efeito Estufa em  
Setores-Chave do Brasil*



# **MODELAGEM SETORIAL DE OPÇÕES DE BAIXO CARBONO PARA O SETOR TÊXTIL**

RÉGIS RATHMANN  
(ORGANIZADOR)

***MODELAGEM SETORIAL DE OPÇÕES  
DE BAIXO CARBONO PARA  
O SETOR TÊXTIL***

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

---

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

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

ISBN: 978-85-88063-43-3

1. Mudanças Climáticas. 2. Emissão de gases. 3. Indústria têxtil. 4. Setor têxtil – Tecnologia. 5. 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](http://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](http://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**

*Jaílson Bittencourt de Andrade*

### **Diretor do Departamento de Políticas e Programas de Ciências**

*Sávio Túlio Oselieri Raeder*

### **Coordenador-Geral do Clima**

*Márcio Rojas da Cruz*

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

### **Diretor Executivo da ONU Meio Ambiente**

*Erik Solheim*

### **Diretor Regional da ONU Meio Ambiente para América Latina e Caribe**

*Leo Heileman*

### **Representante da ONU Meio Ambiente no Brasil**

*Denise Hamú*

## **EQUIPE TÉCNICA DO MCTIC**

### **Coordenador-Geral do Clima**

*Márcio Rojas da Cruz*

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

*Ricardo Vieira Araujo*

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

*Antônio Marcos Mendonça*

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

*Régis Rathmann*

## **EQUIPE TÉCNICA**

*Andréa Nascimento de Araújo*

*Lidiane Rocha de Oliveira Melo*

*Marcela Cristina Rosas Aboim Raposo*

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

*Rodrigo Henrique Macedo Braga*

*Sonia Regina Mudrovitsch de Bittencourt*

*Susanna Erica Busch*

## **EQUIPE ADMINISTRATIVA**

*Ana Carolina Pinheiro da Silva*

*Andréa Roberta dos Santos Campos*

*Maria do Socorro da Silva Lima*

*Ricardo Morão Alves da Costa*

## **EQUIPE TÉCNICA DA ONU MEIO AMBIENTE**

*Francine Costa Vaurof*

*Patricia Taboada*

*Guilherme Sattamini*

*Maria Claudia Cambraia*

## **AUTOR**

*Luiz Felipe Lacerda Pacheco*

## **Revisão**

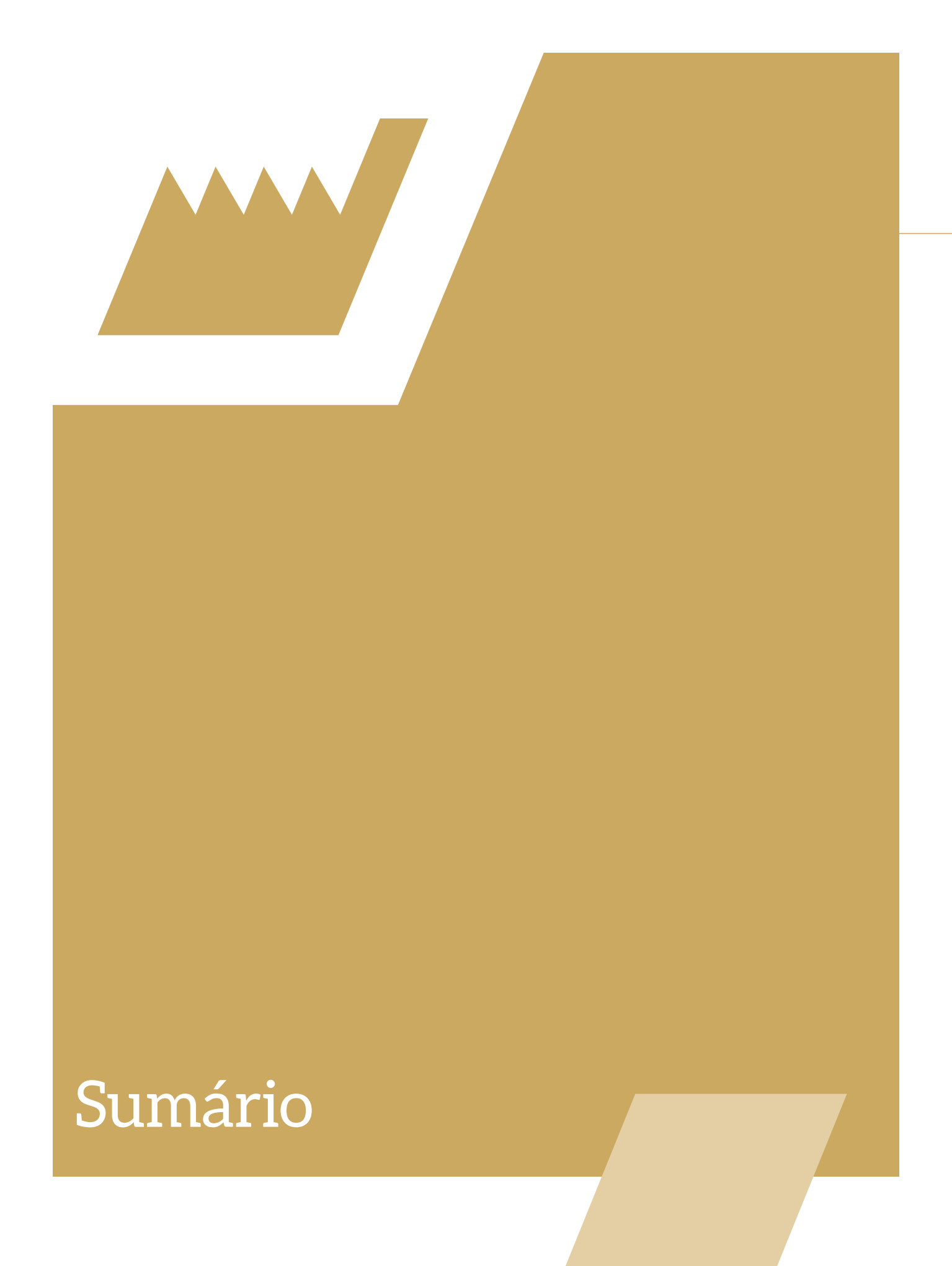
*Anna Cristina de Araújo Rodrigues*

## **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 a large, solid gold shape on the left and a large, solid beige shape on the right. A smaller gold shape with a jagged, sawtooth-like top edge is positioned in the upper left. A thin horizontal gold line is visible on the right side. In the bottom right corner, there is a smaller, tilted beige shape.

# Sumário

---

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| INTRODUÇÃO .....                                                                                       | 17        |
| <b>1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR TÊXTIL .....</b>                                                          | <b>21</b> |
| 1.1 PRINCIPAIS EMPRESAS TÊXTEIS DO MERCADO BRASILEIRO E SUA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA.....               | 23        |
| 1.2 PANORAMA DO SETOR POR SEGMENTOS.....                                                               | 26        |
| 1.2.1 Segmento de fiação.....                                                                          | 26        |
| 1.2.2 Segmento de tecelagem .....                                                                      | 26        |
| 1.2.3 Segmento de malharia .....                                                                       | 27        |
| 1.3 PRINCIPAIS PRODUTOS DO SETOR.....                                                                  | 27        |
| 1.3.1 Fiação.....                                                                                      | 28        |
| 1.3.2 Tecelagem e malharia .....                                                                       | 30        |
| 1.3.3 Beneficiamento .....                                                                             | 32        |
| 1.3.4 Confeção.....                                                                                    | 33        |
| 1.4 PRINCIPAIS PROCESSOS DE PRODUÇÃO POR SEGMENTO DO SETOR TÊXTIL.....                                 | 34        |
| 1.4.1 Fiação.....                                                                                      | 35        |
| 1.4.2 Tecelagem.....                                                                                   | 36        |
| 1.4.3 Beneficiamento.....                                                                              | 37        |
| 1.4.4 Confeção.....                                                                                    | 39        |
| 1.5 TECNOLOGIAS, USO, CONSUMO FINAL E ESPECÍFICO DE ENERGIA .....                                      | 39        |
| 1.5.1 Consumo de energia .....                                                                         | 41        |
| <b>2 MELHORES TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS APLICÁVEIS AOS PROCESSOS PRODUTIVOS<br/>DO SETOR TÊXTIL.....</b> | <b>45</b> |
| 2.1 PRINCÍPIOS OPERATIVOS DAS MTD.....                                                                 | 46        |
| 2.1.1 Aumento da eficiência de combustão nas caldeiras .....                                           | 46        |
| 2.1.2 Recuperação de condensado .....                                                                  | 46        |

---

|          |                                                                                                    |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.3    | Uso do vapor reevaporado (vapor <i>flash</i> ).....                                                | 47        |
| 2.1.4    | Recuperação de calor dos efluentes líquidos .....                                                  | 47        |
| 2.1.5    | Recuperação de calor de ar e gases de exaustão.....                                                | 48        |
| 2.1.6    | Isolamento térmico de tubulações e equipamentos .....                                              | 48        |
| 2.1.7    | Substituição do combustível das caldeiras.....                                                     | 48        |
| 2.1.8    | Cogeração .....                                                                                    | 50        |
| 2.1.9    | Eliminação de vazamentos nas tubulações .....                                                      | 51        |
| 2.1.10   | Automação dos equipamentos elétricos .....                                                         | 51        |
| 2.1.11   | Troca de motores <i>standard</i> pela linha de alto rendimento com inversores .....                | 52        |
| 2.1.12   | Aplicação de LED nos sistemas de iluminação .....                                                  | 52        |
| 2.1.13   | Eficientização dos sistemas de ar-condicionado .....                                               | 53        |
| 2.2      | PARÂMETROS TÉCNICO-ECONÔMICOS DAS MTD .....                                                        | 53        |
| <b>3</b> | <b>CENÁRIO DE REFERÊNCIA .....</b>                                                                 | <b>55</b> |
| 3.1      | PREMISSAS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....                                                      | 55        |
| 3.2      | PROJEÇÕES DE PRODUÇÃO, CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE GEE.....                                   | 60        |
| <b>4</b> | <b>CENÁRIO DE BAIXO CARBONO .....</b>                                                              | <b>63</b> |
| 4.1      | PREMISSAS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....                                                      | 63        |
| 4.2      | PROJEÇÕES DE CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE GEE .....                                            | 66        |
| 4.3      | CUSTOS MARGINAIS DE ABATIMENTO DAS ATIVIDADES DE BAIXO CARBONO .....                               | 68        |
| 4.3.1    | Metodologia .....                                                                                  | 69        |
| 4.3.2    | Pressupostos e parâmetros considerados para a obtenção dos custos<br>marginais de abatimento ..... | 70        |
| 4.3.3    | Resultados.....                                                                                    | 75        |
| <b>5</b> | <b>CENÁRIO DE BAIXO CARBONO COM INOVAÇÃO.....</b>                                                  | <b>79</b> |
| 5.1      | TECNOLOGIAS INOVADORAS PARA O SETOR TÊXTIL .....                                                   | 79        |
| 5.1.1    | Novas fibras sintéticas superfinais .....                                                          | 81        |
| 5.1.2    | Tratamentos enzimáticos .....                                                                      | 82        |
| 5.1.3    | Tratamentos ultrassônicos.....                                                                     | 82        |
| 5.1.4    | Radiação por feixes de elétrons .....                                                              | 82        |

|          |                                                                                                                        |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.1.5    | Uso de ozônio para alveamento de fibras de algodão .....                                                               | 83         |
| 5.1.6    | Pré-tratamento avançado de fibras de algodão .....                                                                     | 83         |
| 5.1.7    | Uso de CO <sub>2</sub> supercrítico .....                                                                              | 84         |
| 5.1.8    | Tingimento eletroquímico.....                                                                                          | 84         |
| 5.1.9    | Uso de tecnologia de plasma.....                                                                                       | 85         |
| 5.1.10   | Uso de micro-ondas .....                                                                                               | 85         |
| 5.1.11   | Produtos auxiliares alternativos.....                                                                                  | 86         |
| 5.1.12   | Processos avançados de tratamento de águas residuais .....                                                             | 86         |
| 5.1.13   | Novos produtos têxteis funcionais ou inteligentes .....                                                                | 86         |
| 5.1.14   | Roupas refrigeradas.....                                                                                               | 87         |
| 5.1.15   | Refletores de alta reflectância.....                                                                                   | 87         |
| 5.1.16   | Estanqueidade máxima (luminárias autolimpantes).....                                                                   | 87         |
| 5.2      | PREMISSAS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....                                                                          | 87         |
| 5.3      | PROJEÇÕES DE CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE GEE.....                                                                 | 90         |
| <b>6</b> | <b>INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA APLICÁVEIS AO SETOR TÊXTIL PARA ADOÇÃO<br/>DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO .....</b> | <b>95</b>  |
| 6.1      | IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS BARREIRAS E DE COBENEFÍCIOS À ADOÇÃO DE MEDIDAS<br>DE BAIXO CARBONO NO SETOR .....        | 97         |
| 6.2      | SÍNTESE DAS EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS E NACIONAIS COM POLÍTICAS PÚBLICAS<br>DE BAIXO CARBONO .....                   | 99         |
| 6.3      | INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA ADOÇÃO DAS ATIVIDADES DE<br>BAIXO CARBONO NO SETOR TÊXTIL.....                   | 103        |
| 6.3.1    | INSTRUMENTOS ECONÔMICOS E DE MERCADO .....                                                                             | 103        |
| 6.3.2    | INSTRUMENTOS REGULATÓRIOS E INSTITUCIONAIS.....                                                                        | 104        |
| 6.3.3    | INSTRUMENTOS COMPORTAMENTAIS E INFORMACIONAIS.....                                                                     | 105        |
| 6.3.4    | INSTRUMENTOS TECNOLÓGICOS.....                                                                                         | 105        |
| 6.4      | SÍNTESE DOS INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PROPOSTOS .....                                                           | 106        |
|          | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                                                                      | <b>111</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                                | <b>115</b> |
|          | <b>ANEXO.....</b>                                                                                                      | <b>123</b> |



The background features abstract geometric shapes in gold and tan. In the top left, there is a gold shape with a sawtooth-like upper edge and a diagonal line on its right side. A large, solid gold shape occupies the upper right and middle sections. In the bottom right corner, there is a tan parallelogram.

Listas de tabelas,  
figuras, quadros e  
siglas e acrônimos

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Saldo da Balança Comercial de Artigos Têxteis e Confeccionados entre 2009 e 2013 (US\$ 1.000)..... | 23 |
| Tabela 2 – <i>Ranking</i> Brasileiro de Empresas do Setor Têxtil (2013).....                                  | 24 |
| Tabela 3 – Produção Segmento de Fiação entre 2009 e 2013.....                                                 | 29 |
| Tabela 4 – Produção Segmento de Tecelagem entre 2009 e 2013.....                                              | 32 |
| Tabela 5 – Produção Segmento de Malharia entre 2009 e 2013.....                                               | 32 |
| Tabela 6 – Produção Segmento de Beneficiamento entre 2009 e 2013 .....                                        | 33 |
| Tabela 7 – Produção Segmento de Confecção entre 2009 e 2013 .....                                             | 34 |
| Tabela 8 – Consumos Específicos de Eletricidade e Combustíveis do Setor Têxtil .....                          | 42 |
| Tabela 9 – Consumo Específico de Eletricidade e Combustíveis por Segmento do Setor Têxtil.....                | 43 |
| Tabela 10 – Parâmetros Técnico-Econômicos das MTD.....                                                        | 53 |
| Tabela 11 – Eficiências das Caldeiras por Combustíveis em 2010 e 2050 .....                                   | 56 |
| Tabela 12 – Eficiências da Cogeração em 2010 e 2050 .....                                                     | 56 |
| Tabela 13 – Eficiências de Equipamentos Consumidores de Eletricidade por Uso Final em 2010 e 2050 .....       | 56 |
| Tabela 14 – Taxas de Crescimento Médio Anual do PIB por Período de 2010 a 2050 .....                          | 56 |
| Tabela 15 – Penetrações Máximas e Mínimas .....                                                               | 58 |
| Tabela 16 – Consumo de Combustíveis e Eletricidade das Tecnologias, Usos Finais e Ciclos no Setor.....        | 59 |
| Tabela 17 – Fatores de Emissão de CO <sub>2</sub> .....                                                       | 59 |

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 18 – Produção Quinquenal por Segmentos do Setor Têxtil<br>(2010-2050).....                          | 60 |
| Tabela 19 – Consumo de Energia por Fonte no Cenário REF.....                                               | 61 |
| Tabela 20 – Emissões por Fonte de Energia no Cenário REF.....                                              | 61 |
| Tabela 21 – Eficiências das Caldeiras por Combustíveis em 2010 e 2050.....                                 | 64 |
| Tabela 22 – Penetrações Máximas e Mínimas.....                                                             | 65 |
| Tabela 23 – Consumo de Combustíveis e Eletricidade das Tecnologias,<br>Usos Finais e Ciclos no Setor ..... | 66 |
| Tabela 24 – Consumo de Energia por Fonte no Cenário BC.....                                                | 67 |
| Tabela 25 – Emissões por Fonte de Energia no Cenário BC.....                                               | 68 |
| Tabela 26 – Cálculo do Custo de Capital.....                                                               | 71 |
| Tabela 27 – Cálculo do Custo Médio Ponderado de Capital .....                                              | 71 |
| Tabela 28 – Cálculo da Taxa de Desconto Real Média para o Setor Têxtil.....                                | 72 |
| Tabela 29 – Empresas por Segmento Específico Passíveis de Introdução<br>das MTD.....                       | 73 |
| Tabela 30 – Síntese dos Parâmetros Técnico-Econômicos das MTD<br>Consideradas no Cenário BC.....           | 73 |
| Tabela 31 – Preço dos Combustíveis.....                                                                    | 74 |
| Tabela 32 – Cenários de Preços de Petróleo.....                                                            | 74 |
| Tabela 33 – Projeção de Preços dos Combustíveis para a Taxa de<br>Desconto Social .....                    | 74 |
| Tabela 34 – Potenciais e Custos Marginais com Taxas de Desconto<br>de 8% e 18% ao ano.....                 | 75 |
| Tabela 35 – Tecnologias Emergentes ou Disruptivas Aplicáveis ao<br>Setor Têxtil.....                       | 81 |
| Tabela 36 – Penetrações Máximas das Tecnologias Inovadoras.....                                            | 89 |
| Tabela 37 – Restrições Máximas de Energia Demandada pelas Medidas<br>Inovadoras.....                       | 90 |
| Tabela 38 – Consumo de Energia por Fonte no Cenário BC+I.....                                              | 91 |
| Tabela 39 – Emissões por Fonte de Energia no Cenário BC+I.....                                             | 92 |
| Tabela 40 – Custos e Potenciais de Abatimento de Emissões dos<br>Cenários BC e BC+I.....                   | 96 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1 – Cadeia Produtiva do Setor Têxtil.....                                                                | 21  |
| Figura 2 – Comércio Externo Brasileiro de Produtos Têxteis e<br>Confeccionados (milhões US\$).....              | 22  |
| Figura 3 – Mapa de Localização dos Polos Têxteis.....                                                           | 25  |
| Figura 4 – Formação do Tecido Plano.....                                                                        | 30  |
| Figura 5 – Desenho de Malha por Trama e Malha por Urdume .....                                                  | 31  |
| Figura 6 – Processos e Equipamentos por Segmento Têxtil .....                                                   | 34  |
| Figura 7 – Evolução do Consumo de Energéticos do Setor Têxtil .....                                             | 41  |
| Figura 8 – Consumo Específico de Eletricidade por Segmento entre<br>2006 e 2013 .....                           | 42  |
| Figura 9 – Fluxograma de Processo sem e com Unidade de Cogeração.....                                           | 50  |
| Figura 10 – Consumo de Energia por Fonte no Cenário REF .....                                                   | 61  |
| Figura 11 – Consumo de Energia e Variação entre os Cenários REF e BC.....                                       | 67  |
| Figura 12 – Emissões Totais e Variação entre os Cenários REF e BC.....                                          | 68  |
| Figura 13 – Curva de Custos Marginais de Abatimento do Setor Têxtil<br>para Taxa de Desconto de 8% ao ano.....  | 76  |
| Figura 14 – Curva de Custos Marginais de Abatimento do Setor Têxtil<br>para Taxa de Desconto de 18% ao ano..... | 76  |
| Figura 15 – Consumo de Energia e Variação entre os Cenários REF e BC+I.....                                     | 91  |
| Figura 16 – Emissões Totais e Variação entre os Cenários REF e BC.....                                          | 92  |
| Figura 17 – Instrumentos Utilizados por Países para Promover a<br>Eficiência Energética na Indústria .....      | 100 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Quadro 1 – Matéria-Prima e Produtos de Cada Segmento da Indústria Têxtil ....                                                        | 28  |
| Quadro 2 – Principais Processos do Segmento de Fiação e Suas Finalidades .....                                                       | 35  |
| Quadro 3 – Principais Processos de Beneficiamento de Fios e<br>Suas Finalidades .....                                                | 36  |
| Quadro 4 – Principais Processos de Tecelagem/Malharia e<br>Suas Finalidades.....                                                     | 36  |
| Quadro 5 – Principais Processos de Beneficiamento e Suas Finalidades .....                                                           | 38  |
| Quadro 6 – Principais Processos de Confeção e Suas Finalidades .....                                                                 | 39  |
| Quadro 7 – Principais Tecnologias Utilizadas nos Segmentos do<br>Setor Têxtil Que Emitem GEE .....                                   | 40  |
| Quadro 8 – Escala para Avaliação da Prontidão Tecnológica (TRL)<br>de Dada Tecnologia.....                                           | 80  |
| Quadro 9 – Descrição das Potencialidades das Tecnologias de Ruptura .....                                                            | 88  |
| Quadro 10 – Quadro-Resumo de Medidas, Barreiras e Instrumentos de<br>Política Pública para Adoção dos Cenários de Baixo Carbono..... | 107 |

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial  
ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET  
ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AFOLU – Agricultura, florestas e outros usos do solo  
BEN – Balanço Energético Nacional  
BEU – Balanço de Energia Útil  
BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento  
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social  
BPF – Óleo de baixo ponto de fluidez  
CAL – Custo anual líquido  
CENÁRIO BC – Cenário de baixo carbono  
CENÁRIO BC+I – Cenário de baixo carbono com inovação  
CENÁRIO REF – Cenário de referência  
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CH<sub>4</sub> – Metano  
CLP – Controladores lógicos programáveis  
CMA – Custos marginais de abatimento  
CNI – Confederação Nacional da Indústria  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono  
CO<sub>2</sub>e – Dióxido de carbono equivalente  
COP15 – 15ª Conferência das Partes  
COP21 – 21ª Conferência das Partes  
CT&I – Ciência, tecnologia e inovação  
EMBRAPII – Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
FGV/EAESP – Escola de Administração de Empresas de São Paulo da  
Fundação Getúlio Vargas

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos  
GCF – Green Climate Fund  
GEE – Gases do efeito estufa  
GEF – Global Environment Facility  
GLP – Gás liquefeito do petróleo  
GN – Gás natural  
GWh – Gigawatt-hora  
GWP – Potencial de aquecimento global  
HFC – Hidrofluorcarboneto  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IDH – Índice de desenvolvimento humano  
IEA – International Energy Agency  
IEMI – Instituto de Estudos e Marketing Industrial  
IHM – Interface homem-máquina  
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia  
INT – Instituto Nacional de Tecnologia  
IPC – Índice de preços ao consumidor  
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change  
kCAL – Quilocalorias  
kWh – Quilowatt-hora  
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  
MP – Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão  
MRV – Monitoramento, relato e verificação

MTD – Melhores tecnologias disponíveis

N<sub>2</sub>O – Óxido nitroso

NDC – Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil ao Acordo de Paris

O&M – Operação e manutenção

O<sub>3</sub> – Ozônio

P&D – Pesquisa e desenvolvimento

PET – Tereftalato de polietileno

PFC – Compostos perfluorados

PIB – Produto interno bruto

PNE – Plano Nacional de Energia

PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética

PNMC – Plano Nacional de Mudanças Climáticas

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RBS – *Reed bed systems*

SCADA – Sistemas de supervisão e aquisição de dados

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SF<sub>6</sub> – Hexafluoreto de enxofre

SIN – Sistema Interligado Nacional

SIRENE – Sistema de Registro Nacional de Emissões

t – Toneladas

TCN – Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

tep – Tonelada equivalente de petróleo

TNT – Tecido não tecido

TR – Tonelada de refrigeração

TRL – *Technology readiness level*

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

WACC – Custo médio ponderado de capital



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 word 'Introdução' is written in white serif font in the bottom left corner of the gold area.

# Introdução

## INTRODUÇÃO

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

Segundo o World Bank (2016), o país desempenhou papel fundamental na formulação do quadro climático para a 21ª Conferência das Partes (COP21), que culminou com o Acordo de Paris. Na ocasião, o Brasil comprometeu-se a reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, com possível esforço para chegar à redução de 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030.<sup>1</sup> 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 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, PFC, HFC e SF<sub>6</sub>, 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 dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), usando-se a métrica GWP-100 do AR5.<sup>2</sup> Para a estimativa dos gases, serão utilizadas as metodologias do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) para inventários nacionais. Faz-se menção explícita à possibilidade de utilização das remoções, ou seja, retirada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 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 CO<sub>2</sub>e, 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 CO<sub>2</sub> nesse ano. Porém, ao considerar exclusivamente as emissões relacionadas com a consumo de energia, o setor industrial passaria a ser responsável por cerca de 1/3 das emissões totais (HENRIQUES JR., 2010; MCTI, 2016). Nesse contexto, o setor industrial tem papel relevante para a mitigação de

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

<sup>2</sup> Métrica de conversão para dióxido de carbono equivalente do 5º relatório de avaliação do IPCC (MCTI, 2016).

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

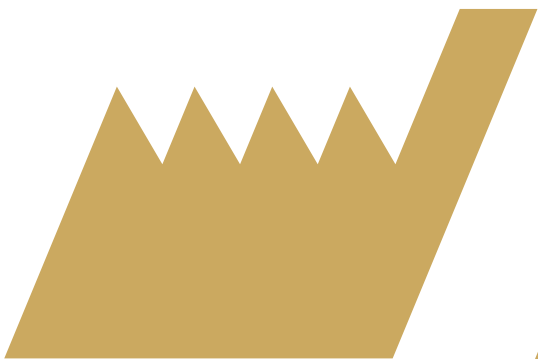
Apesar da ambição, os esforços de mitigação e potenciais contribuições setoriais não foram detalhados setorialmente e sequer sua viabilidade técnico-econômica foi avaliada na Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil ao Acordo de Paris (sigla em inglês, NDC). Nesse contexto, o projeto “Opções 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 têxtil, o objetivo é identificar as possibilidades de mitigação de emissões de GEE. Adicionalmente, serão avaliados barreiras, cobenefícios e potenciais efeitos adversos à adoção das atividades de baixo carbono para, partindo disso, serem propostos instrumentos de política pública capazes de viabilizá-las.

Para responder a esse objetivo, o presente relatório é composto por seis capítulos, além da seção introdutória e das considerações finais. O capítulo 1 caracteriza o setor, com foco nos processos produtivos, segmentação e consumos específicos de energia. O capítulo 2 trata das melhores tecnologias disponíveis (MTD) para o setor, visando, direta ou indiretamente, à mitigação de emissões de GEE. Nos capítulos 3, 4 e 5, são apresentados os cenários de referência (REF), baixo carbono (BC) e baixo carbono com inovação (BC+I). Por fim, o capítulo 6 trata de barreiras, cobenefícios e instrumentos de políticas públicas para a adoção dos cenários de baixo carbono pelo setor têxtil.

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 do setor têxtil

Capítulo

**1**

# 1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR TÊXTIL

A estrutura da cadeia produtiva têxtil e de confecção é formada por diversos segmentos industriais autônomos. No entanto, a interação entre eles é fundamental para a sua organização.

A estrutura da cadeia produtiva têxtil se inicia com a matéria-prima (fibras têxteis), que é transformada em fios nas fábricas de fiação, de onde seguem para a tecelagem (que fabrica os tecidos planos) ou para a malharia (tecidos de malha). Posteriormente, passam pelo acabamento para, finalmente, atingir a confecção. O produto final de cada uma dessas fases é a matéria-prima da fase seguinte. Na etapa final da estrutura da cadeia produtiva têxtil, os produtos podem chegar ao consumidor em forma de fios, vestuário ou de artigos para o lar (cama, mesa, banho, decoração e limpeza). Além desses usos tradicionais, os tecidos também podem ser destinados ao uso industrial.

Há ainda a interface com a indústria química, dada a necessidade de insumos químicos para diversos tipos de tratamento desde as fibras até os bens acabados, e com a indústria de bens de capital, tendo em vista as máquinas e os equipamentos que perpassam toda a cadeia.

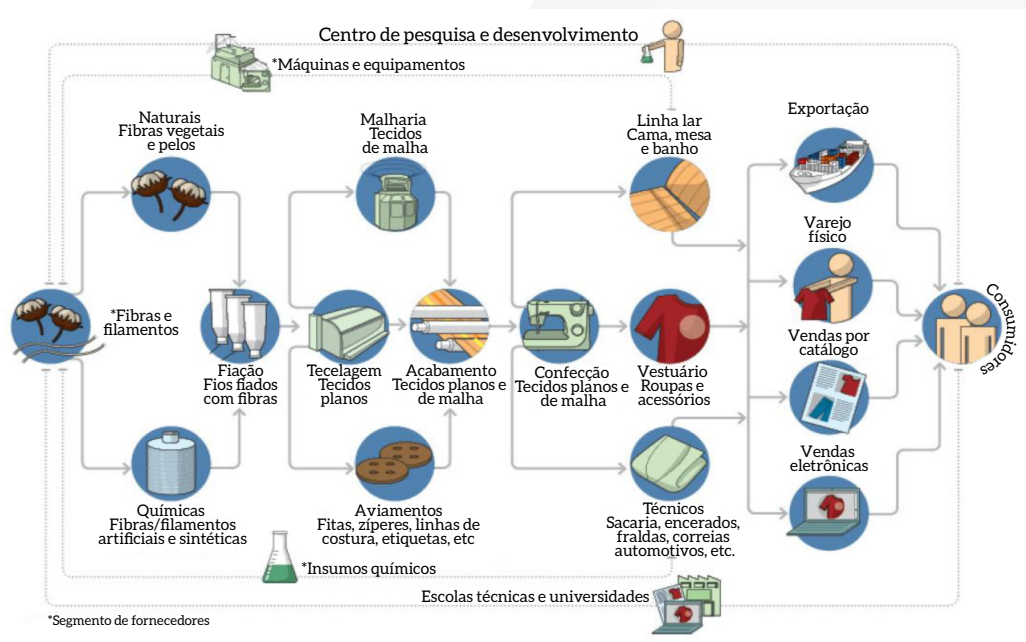


Figura 1 – Cadeia Produtiva do Setor Têxtil

Fonte: ABIT, 2008

Em termos de economia mundial, segundo IEMI (2014), verificou-se em 2013 que o consumo mundial de fibras alcançou 89,1 milhões de toneladas, montante que pressupõe um consumo mundial *per capita* de 12,4 kg ano.

O Brasil ocupa o 4º lugar no *ranking* dos produtores têxteis mundiais e o 2º lugar no *ranking* dos produtores de jeans. Na exportação de produtos têxteis e de vestuário, o Brasil ocupa o 40º lugar no *ranking*. O primeiro lugar fica com a China, com 35,5% das exportações mundiais, o que equivale a um valor de US\$ 246,1 bilhões. Na importação de têxteis e vestuário, o Brasil ocupa o 25º lugar no *ranking*.

A cadeia têxtil brasileira produziu em 2013 cerca de US\$ 58,2 bilhões, equivalente a 5,7% do total da produção da indústria brasileira de transformação, excluídas as atividades de extração mineral e construção civil, que completam o setor secundário da economia.

A produção têxtil no Brasil foi de 4.363 milhões de toneladas em 2013, assim subdivididos: 310 mil toneladas de fibras e filamentos; 2.175 milhões de toneladas de artigos têxteis; e 1.878 milhão de toneladas de artigos confeccionados. Os empregos gerados pela cadeia têxtil somaram 1,6 milhão de postos de trabalho em 2013, ou o equivalente a 16,4% do total de trabalhadores alocados na produção industrial naquele ano.

Recentemente, o Brasil se tornou um país importador de produtos têxteis e confeccionados. A balança comercial da cadeia têxtil vem, ano a ano, ampliando seu déficit, chegando a US\$ 4,5 bilhões em 2013. Em 2009, o déficit era de US\$ 1,6 bilhão. Em quatro anos, houve crescimento do déficit de 181%, ou seja, média de 29% ao ano, como mostra a Figura 2.

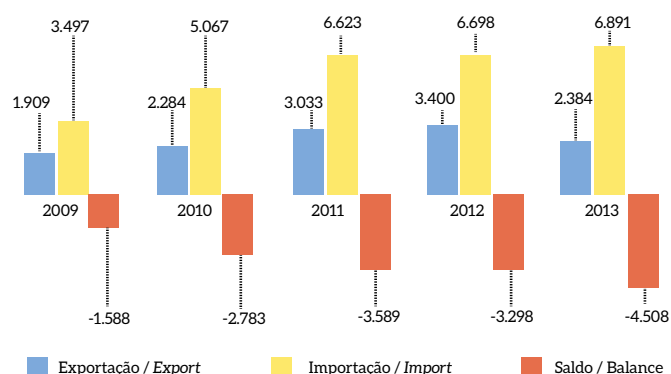


Figura 2 – Comércio Externo Brasileiro de Produtos Têxteis e Confeccionados (milhões US\$)

Fonte: IEMI, 2014

A Tabela 1 apresenta o saldo, em relação às exportações e importações, separadamente por segmentos do setor. Pode-se observar o crescimento do déficit por segmento e perceber que o único segmento que tem saldo favorável é o de fibras têxteis, apesar da queda de produção.

Tabela 1 – Saldo da Balança Comercial de Artigos Têxteis e Confeccionados entre 2009 e 2013 (US\$ 1.000)

| Segmentos                                         | 2009       | 2010       | 2011       | 2012       | 2013       |
|---------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Fibras</b>                                     |            |            |            |            |            |
| Exportação                                        | 801.814    | 1.012.156  | 1.753.057  | 2.257.492  | 1.300.562  |
| Importação                                        | 160.189    | 237.136    | 600.320    | 201.870    | 260.465    |
| Saldo                                             | 641.625    | 775.020    | 1.152.737  | 2.055.622  | 1.040.097  |
| <b>Filamentos</b>                                 |            |            |            |            |            |
| Exportação                                        | 35.146     | 45.472     | 45.512     | 52.758     | 53.513     |
| Importação                                        | 555.302    | 761.311    | 829.252    | 872.434    | 852.578    |
| Saldo                                             | -520.156   | -715.839   | -783.740   | -819.676   | -799.065   |
| <b>Manufaturas Têxteis</b>                        |            |            |            |            |            |
| Exportação                                        | 662.925    | 797.009    | 898.524    | 818.624    | 772.295    |
| Importação                                        | 1.850.270  | 2.732.986  | 3.097.014  | 3.025.924  | 2.957.364  |
| Saldo                                             | -1.187.345 | -1.935.977 | -2.198.490 | -2.207.300 | -2.185.069 |
| <b>Confeccionados</b>                             |            |            |            |            |            |
| Exportação                                        | 408.984    | 429.370    | 334.095    | 270.809    | 257.212    |
| Importação                                        | 931.195    | 1.336.036  | 2.096.075  | 2.597.495  | 2.820.891  |
| Saldo                                             | -522.211   | -906.666   | -1.761.980 | -2.326.686 | -2.563.679 |
| <b>Total</b>                                      |            |            |            |            |            |
| Exportação                                        | 1.908.869  | 2.284.007  | 3.031.188  | 3.399.683  | 2.383.582  |
| Importação                                        | 3.496.956  | 5.067.469  | 6.622.661  | 6.697.723  | 6.891.298  |
| Saldo                                             | -1.588.087 | -2.783.462 | -3.591.473 | -3.298.040 | -4.507.716 |
| <b>Total Manufaturas Têxteis e Confeccionados</b> |            |            |            |            |            |
| Exportação                                        | 1.071.909  | 1.226.379  | 1.232.619  | 1.089.433  | 1.029.507  |
| Importação                                        | 2.781.465  | 4.069.022  | 5.193.089  | 5.623.419  | 5.778.255  |
| Saldo                                             | -1.709.556 | -2.842.643 | -3.960.470 | -4.533.986 | -4.748.748 |

Fonte: Elaborado a partir de IEMI, 2014

## 1.1 PRINCIPAIS EMPRESAS TÊXTEIS DO MERCADO BRASILEIRO E SUA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

As 27 maiores empresas do setor têxtil no Brasil, em número de vendas em 2012 com seus respectivos crescimentos, lucros e rentabilidades, são listadas na Tabela 2.

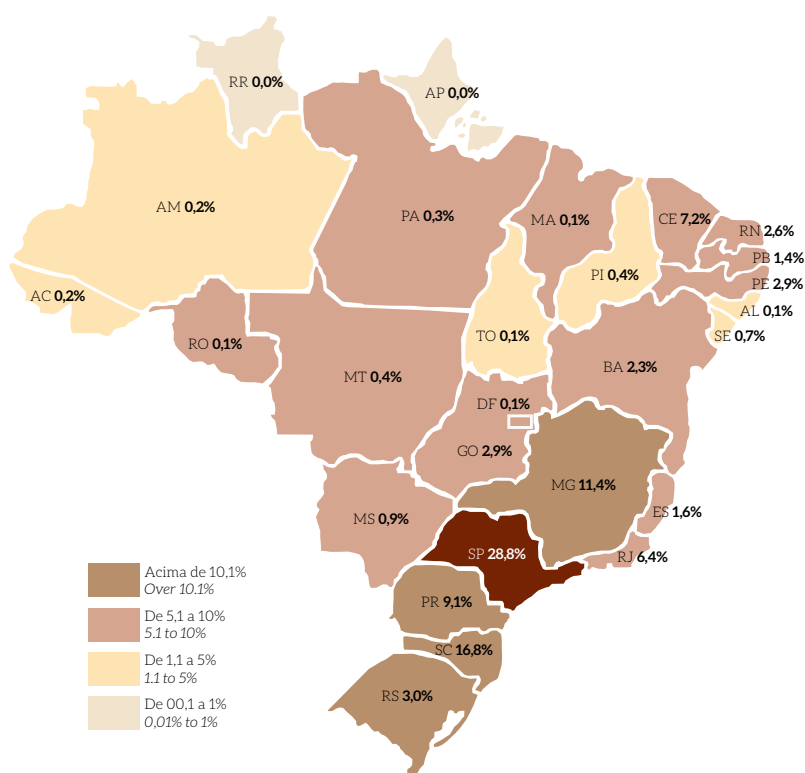


Tabela 2 – Ranking Brasileiro de Empresas do Setor Têxtil (2013)

| Posição em 2013 | Empresa                    | Controle   | Vendas (US\$ milhões) | Crescimento em relação a 2012 (%) | Lucro (US\$ milhões) | Rentabilidade (%) |
|-----------------|----------------------------|------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|
| 1               | Alpargatas                 | Brasil     | 1053                  | 13                                | 78                   | 10                |
| 2               | Grandene                   | Brasil     | 839                   | 16                                | 124                  | 12                |
| 3               | Hering                     | Brasil     | 694                   | 5                                 | 122                  | 26                |
| 4               | Beira Rio                  | Brasil     | 452                   | -                                 | 35                   | 19                |
| 5               | Vicunha                    | Brasil     | 444                   | -2                                | 20                   | 4                 |
| 6               | Coteminas                  | Brasil     | 417                   | 2                                 | -52                  | -10               |
| 7               | Guararapes                 | Brasil     | 382                   | -14                               | 96                   | 8                 |
| 8               | Arezzo                     | Brasil     | 355                   | 16                                | 34                   | 16                |
| 9               | Tavex                      | Brasil     | 287                   | -18                               | -44                  | -68               |
| 10              | Vulcabrás/<br>Azaleia - CE | Brasil     | 273                   | -12                               | -134                 | -                 |
| 11              | Vulcabrás/<br>Azaleia - BA | Brasil     | 256                   | -12                               | -53                  | -59               |
| 12              | Meias Lupo                 | Brasil     | 241                   | -5                                | 27                   | 17                |
| 13              | Dass Nordeste              | Brasil     | 198                   | -14                               | 11                   | 7                 |
| 14              | De Millus                  | Inglaterra | 194                   | 7                                 | 11                   | 8                 |
| 15              | Santo Antônio              | Brasil     | 176                   | -10                               | 8                    | 10                |
| 16              | Santanense                 | Brasil     | 173                   | -5                                | 13                   | 11                |
| 17              | Dakota - NE                | Brasil     | 159                   | -14                               | 2                    | -                 |
| 18              | Capricórnio                | Brasil     | 155                   | -2                                | 5                    | 6                 |
| 19              | Döhler                     | Brasil     | 146                   | -1                                | 4                    | 2                 |
| 20              | Karsten                    | Brasil     | 138                   | -                                 | 2                    | 10                |
| 21              | Cedro e Cachoeira          | Brasil     | 132                   | -10                               | 2                    | 1                 |
| 22              | Lidervinmatec              | Brasil     | 94                    | -6                                | -2                   | -5                |
| 23              | Cataguases                 | Brasil     | 90                    | -14                               | 2                    | 2                 |
| 24              | Teka                       | Brasil     | 87                    | -33                               | -114                 | -                 |
| 25              | TBM                        | Brasil     | 74                    | -45                               | 5                    | 6                 |
| 26              | Norfil                     | Brasil     | 74                    | -6                                | 9                    | 16                |
| 27              | Linhas Círculo             | Brasil     | 67                    | 10                                | 6                    | -                 |

Fonte: Elaborado a partir de EXAME, 2015

Em termos de distribuição geográfica dos principais polos têxteis, verifica-se na Figura 3 uma maior concentração (48,2%) na região Sudeste.



**Figura 3 – Mapa de Localização dos Polos Têxteis**

Fonte: IEMI, 2014

Em Caxias do Sul/RS, situa-se o maior e mais importante polo de malhas produzidas a partir dos teares retilíneos do Brasil, abrangendo praticamente toda a região serrana do Rio Grande do Sul. Segundo IEMI (2014), cerca de 400 empresas produzem 8.500.000 peças/ano, gerando aproximadamente 7.000 empregos diretos. Outro polo importante de malharia no país encontra-se no Vale do Itajaí, em Santa Catarina. Uma das principais características de polos de malharia é a sazonalidade da produção e das vendas, dado que o consumo ocorre exclusivamente nas épocas de clima frio. Quanto a tecidos planos, encontra-se em São Paulo, na cidade de Americana, o principal polo industrial de tecidos planos confeccionados a partir de fibras sintéticas. Um novo polo parece estar se formando no Nordeste, com a implantação de modernas fábricas de malhas da Vicunha e da Coteminas, capazes de competir com nossos concorrentes asiáticos. Outros polos menores, dedicados basicamente à confecção de artigos de malha, podem ser apontados, como Santa Cruz do Capiberibe (PE), Criciúma (SC), Juiz de Fora e Divinópolis (MG), Petrópolis e Rio de Janeiro (RJ). Tais polos têm alguma importância na economia regional.

As características das plantas têxteis no Brasil são bem distintas, visto que poucas empresas têm o ciclo completo, agrupando todos os segmentos do setor, desde a aquisição das fibras têxteis até a confecção de peças para vestuário e outras utilizações.

## 1.2 PANORAMA DO SETOR POR SEGMENTOS

### 1.2.1 SEGMENTO DE FIAÇÃO

Em 2013, o Brasil contava com 433 unidades produtivas com porte industrial. A produção de fios fiados (não inclui filamentos) no Brasil alcançou 1,3 milhão de toneladas. Pelo lado do consumo interno, o mercado chegou a 1,3 milhão de toneladas. Desse total, 15,3% foram supridos por artigos importados. O principal canal de distribuição é o consumo próprio das tecelagens/malharias.

As 433 indústrias do setor empregavam 74 mil pessoas e produziram 1,3 milhão de toneladas, com faturamento de US\$ 5,7 bilhões em valores de produção.

### 1.2.2 SEGMENTO DE TECELAGEM

#### 1.2.2.1 ARTIGOS DE VESTUÁRIO

O Brasil contava com 557 tecelagens, sendo que a produção de tecidos planos de algodão no Brasil alcançou 772 mil toneladas em 2013, representando um recuo na produção de 2,6% em volumes com relação a 2012.

A produção de tecidos planos de fibras artificiais e sintéticas no Brasil alcançou 532 mil toneladas em 2013. O consumo interno foi de 787 mil toneladas, o que demonstra a necessidade de importações. O principal canal de distribuição foi a venda direta às confecções.

As 557 indústrias do segmento empregavam 98 mil trabalhadores. Os faturamentos foram de US\$ 6,9 bilhões com fibra natural e US\$ 3,7 bilhões com fibra artificial e sintética.

#### 1.2.2.2 ARTIGOS DE CAMA, MESA E BANHO

Em 2013, havia 1,5 mil unidades produtivas de artigos de cama, mesa e banho no Brasil. A produção alcançou 966,8 milhões de peças, o que representou um consumo médio *per capita* de 4,9 peças naquele ano.

O consumo interno foi de 1,0 bilhão de peças em 2013, dos quais 12,2% foram supridos por artigos importados. O principal canal de distribuição foi o de pequenas lojas independentes especializadas em cama, mesa, banho e decorativos. A principal região de consumo é o Sudeste, liderado pelo estado de São Paulo. O grupo consumidor que mais gasta com o produto é a classe média.

As 1,5 mil indústrias desse segmento empregavam 92,8 mil trabalhadores, os quais produziram 966,8 milhões de peças. O faturamento do segmento foi de US\$ 6,3 bilhões naquele ano.

#### 1.2.2.3 ARTIGOS ESPORTIVOS

Havia no Brasil, em 2013, cerca de 3,3 mil unidades produtivas de artigos esportivos. A produção alcançou 743,1 milhões de peças, o que representou um crescimento de menos de 1% em volume com relação a 2012.

Pelo lado do consumo interno, o mercado chegou a 773 milhões de peças em 2013. Desse total, 4,1% foram supridos por artigos importados. O principal canal de distribuição são as grandes lojas especializadas, sendo a região Sudeste o principal polo consumidor, liderada pelo estado de São Paulo. O grupo consumidor que mais gasta com o produto é a classe média.

As 3,3 mil indústrias do mercado de roupas esportivas no Brasil, em 2013, geravam 154 mil empregos e 743 milhões de peças produzidas. O faturamento foi de US\$ 4,5 bilhões.

#### **1.2.2.4 ACESSÓRIOS E MODA ÍNTIMA**

Em 2013, o país tinha 3,4 mil unidades produtivas de acessórios e moda íntima, que produziram 1,5 bilhão de peças, o que representou avanço menor que 1,0% com relação a 2012. A demanda interna chegou a 1,7 bilhão de peças, o que demonstra a necessidade de importações. O faturamento do segmento foi de US\$ 3,6 bilhões.

O principal canal de distribuição foram lojas de departamento especializadas, e a principal região de consumo foi a Sudeste, liderada pelo estado de São Paulo. O grupo consumidor mais representativo foi a classe média.

#### **1.2.2.5 MÓVEIS ESTOFADOS**

O Brasil contava, em 2013, com 662 empresas no segmento de móveis estofados. A produção alcançou 50,9 milhões de peças, o que significou aumento de 4,1% em volume com relação a 2012. O consumo interno chegou a 53,3 milhões de peças em 2013, e o principal canal de distribuição foi venda direta às lojas especializadas.

As 662 indústrias desse segmento faturaram US\$ 3 bilhões e empregaram 16 mil trabalhadores.

### **1.2.3 SEGMENTO DE MALHARIA**

O Brasil contava com 740 malharias em 2013, não incluindo as malharias de máquinas retílineas. A produção de tecidos de malha alcançou 504,7 mil toneladas, o que representou crescimento de 0,4% em volume com relação a 2012.

A demanda interna foi de 597 mil toneladas, e o principal canal de distribuição foi a venda direta às confecções. O segmento empregava 59,5 mil trabalhadores nas malharias e faturou US\$ 5,2 bilhões.

## **1.3 PRINCIPAIS PRODUTOS DO SETOR**

A maior parte da matéria-prima utilizada pelo setor têxtil brasileiro é fibra de algodão. Outras fibras naturais, como linho, lã, seda etc., não têm participação significativa na produção de artigos têxteis. As fibras químicas podem ser divididas em fibras naturais, obtidas a partir da celulose, e sintéticas, obtidas a partir de produtos petroquímicos. Existe clara tendência de crescimento da produção e do consumo de fibras químicas no mundo, em particular, de fibras sintéticas, e de queda relativa de fibras naturais.

Conforme apresentado no Quadro 1, percebe-se, como foi citado na introdução, que o produto final de cada segmento é a matéria-prima do seguinte.

**Quadro 1 – Matéria-Prima e Produtos de Cada Segmento da Indústria Têxtil**

| Matéria-prima                 | Segmento                  | Produto Final                      |
|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Fibras têxteis                | Fiação                    | Fios crus ou beneficiados          |
| Fios crus ou beneficiados     | Tecelagem/malharia        | Tecidos                            |
| Tecidos                       | Beneficiamento/acabamento | Tecidos beneficiados/acabados      |
| Tecidos beneficiados/acabados | Confecção                 | Peças Vestuário/linha lar/técnicos |

Fonte: Elaboração própria

A seguir, serão caracterizados, em termos de produção e produtos, os diferentes segmentos do setor têxtil.

### 1.3.1 FIAÇÃO

O segmento de fiação fornece diversos produtos para os quais se utilizam fibras naturais, artificiais e sintéticas, além dos chamados elastanos (filamento sintético conhecido por sua excepcional elasticidade – lycra pura) e ecológicos (utilizam processos que reduzem o impacto de carbono, energia e poluição sobre o meio ambiente).

A seguir, serão descritos os principais produtos (fios) do segmento de fiação utilizados como matéria-prima para o segmento de tecelagem em tecidos planos e malharias:

- Algodão: no Brasil, a maior produção fica a cargo das fibras de algodão. Em termos de aplicação, a produção de jeans (tecidos denim), especialmente os do tipo índigo *blue* e índigo *black*, utiliza algodão puro, sem acréscimo de outras fibras. No segmento de malharia, o algodão é utilizado, principalmente, nas linhas de camiseta *T-shirt*, artigos de moletom e meias esportivas, em geral misturado a outras fibras sintéticas. O algodão tem sido utilizado também na produção do *cotton-lycra* (produto misto de algodão e elastano);
- Lã: é produzida a partir de fibras naturais (lã de animais). Mais utilizada em regiões de clima frio, tem sido substituída pelo acrílico, fibra sintética que, além de mais barata, tem maior resistência e é hipoalergênica;
- Artificiais: são produzidas a partir da celulose encontrada na polpa da madeira ou no línter do algodão (fibras curtas próximas às sementes), sendo as principais o raíom viscose e o raíom acetato:
  - » Raíom viscose – é uma fibra de características semelhantes às do algodão, ao qual é misturada em proporções diversas, melhorando o toque, o caimento, o brilho, a cor e a textura do tecido resultante;
  - » Raíom acetato – é menos utilizado em produtos têxteis, pois não tem boa reação ao tingimento pelos processos normais. É mais utilizado na fabricação de rendas, cetins e material de estofamento, bem como em filtros para cigarros;
- Sintéticos: são fibras elaboradas a partir dos derivados de petróleo:
  - » Poliamida – conhecida comercialmente por *nylon*, tem inúmeras aplicações industriais, pois permite produzir fios com resistência de cerca de 3,5 vezes superior à dos fios de algodão. Os tecidos de malha produzidos com *nylon* associado a um elastano são amplamente utilizados na confecção de roupas íntimas, esportivas e de banho;

- » Poliéster – é uma fibra versátil, com ampla utilização em vestuário, linhas de costura, não tecidos, mantas e muitas outras aplicações;
- » Fibra acrílica – foi introduzida para competir com a lã no mercado de artigos de inverno. Seu uso expandiu-se bastante e hoje é empregada na fabricação de pulôveres, conjuntos e artigos para recém-nascidos, blusas, camisas e muitos outros, na forma de fibra pura ou misturada com o algodão ou a lã em variadas proporções. Suas vantagens sobre a lã são menor custo, solidez e brilho das cores, bem como resistência à lavagem em máquinas e o fato de serem hipoalergênicos, como dito acima;
- Elastanos: o uso de fios elásticos na fabricação de tecidos permite produzir artigos que aderem ao corpo, acompanhando as formas sem tolher os movimentos. Sempre combinados com outras fibras não elásticas, sejam naturais, sintéticas ou artificiais;
- Fio PET: É a fibra têxtil feita de garrafa PET reciclada. Na produção do fio PET reciclado, utilizam-se 30% da energia utilizada na produção da fibra virgem, ou seja, além da própria reciclagem que contribui para reduzir o lixo no meio ambiente, a economia no uso de energia é um ativo ambiental desse produto. É possível confeccionar vários artigos a partir da reciclagem de garrafas PET, como camisetas, sacolas retornáveis, bandanas, aventais, embalagens e muitos outros produtos, com um apelo ecológico muito grande.

Com o agravamento da situação econômica dos Estados Unidos em 2010, o dólar perdeu força ante o real, ocasionando uma crise no setor, o qual obteve crescimento negativo próximo a 14% de 2010 para 2011. De fato, o crescimento das importações do continente asiático reflete, por meio da queda na produção nacional, a perda de competitividade do setor.

A Tabela 3 apresenta números de produção que permitem observar a crise no setor iniciada em 2010.

**Tabela 3 – Produção Segmento de Fiação entre 2009 e 2013**

| Natureza                        | Produção (toneladas) |                  |                  |                  |                  |
|---------------------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                 | 2009                 | 2010             | 2011             | 2012             | 2013             |
| <b>Algodão</b>                  | 1.144.520            | 1.205.570        | 1.051.023        | 1.006.779        | 1.032.858        |
| <b>Artificiais e Sintéticos</b> | 210.764              | 225.950          | 195.766          | 185.476          | 172.613          |
| Viscose                         | 39.495               | 38.898           | 21.727           | 21.308           | 16.157           |
| Nylon                           | 5.912                | 6.447            | 6.389            | 6.770            | 7.523            |
| Acrílico                        | 33.022               | 30.072           | 27.787           | 24.677           | 15.900           |
| Poliéster                       | 120.230              | 136.893          | 127.537          | 120.759          | 121.160          |
| Polipropileno                   | 12.105               | 13.640           | 12.326           | 11.962           | 11.873           |
| <b>Outros Naturais</b>          | 41.460               | 43.021           | 41.212           | 42.866           | 40.673           |
| Juta                            | 18.571               | 19.740           | 15.417           | 17.298           | 16.139           |
| Linho                           | 1.235                | 1.171            | 1.105            | 1.070            | 1.103            |
| Rami                            | 931                  | 722              | 698              | 746              | 719              |
| Sisal                           | 18.587               | 19.309           | 21.723           | 21.504           | 20.441           |
| Seda                            | 1.013                | 913              | 1.009            | 970              | 924              |
| Lã                              | 1.123                | 1.166            | 1.260            | 1.278            | 1.347            |
| <b>Resíduos</b>                 | 12.008               | 13.101           | 13.656           | 13.253           | 13.104           |
| <b>Total</b>                    | <b>1.408.752</b>     | <b>1.487.642</b> | <b>1.301.657</b> | <b>1.248.374</b> | <b>1.259.248</b> |

Fonte: Elaborado a partir de IEMI, 2014

### 1.3.2 TECELAGEM E MALHARIA

Os tecidos planos, produto das indústrias de tecelagem, são resultantes do entrelaçamento de dois conjuntos de fios que se cruzam em ângulo reto (Figura 4). Os fios dispostos no sentido horizontal são chamados de fios de “trama”, e os fios dispostos no sentido vertical, de fios de urdume. Os fios podem ser divididos em subclasses:

- Tecidos simples – tecidos formados por um conjunto de fios de urdume e um conjunto de fios de trama;
- Tecidos compostos – mais de um conjunto de fios de urdimento e um ou mais conjuntos de trama;
- Tecidos felpudos – tecidos compostos, cujas superfícies apresentam felpas salientes, inteiras ou cortadas;
- Leno ou giro-inglês – tecidos em geral muito porosos e cujos fios de urdimento se entrelaçam com as tramas e com outros fios de urdimento;
- Tecidos *jacquard* – tecidos simples ou compostos que apresentam grandes desenhos obtidos pela diferença de ligamentos usados e/ou pelo uso de fios coloridos.

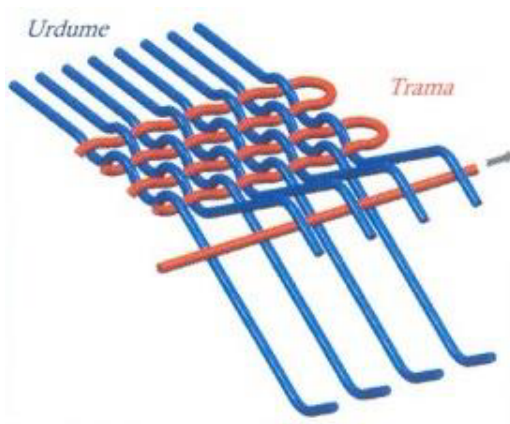
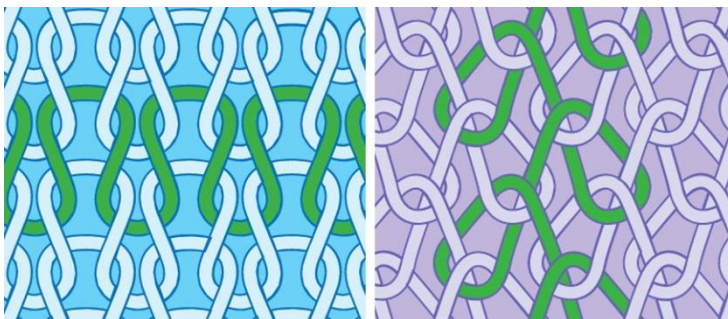


Figura 4 – Formação do Tecido Plano

Fonte: TECILLI, 2015

Os produtos das malharias são formados pela interpenetração de laçadas ou malhas que se apoiam horizontal e verticalmente, provenientes de um ou mais fios. Podem ser divididos:

- Por trama – tecidos de malha obtidos a partir do entrelaçamento de um único fio, podendo resultar num tecido aberto ou circular;
- Por urdume – tecidos de malha obtidos a partir de um ou mais conjuntos de fios, colocados lado a lado, à semelhança dos fios de urdume da tecelagem plana.



**Figura 5 – Desenho de Malha por Trama e Malha por Urdume**

Fonte: AUDACES, 2015

A seguir, faz-se a descrição dos diferentes tipos de malha:

- Mistos – tecidos de malha por urdume ou trama com inserção (*lay-in*) periódica de um fio de trama, objetivando dar melhor estabilidade dimensional ao tecido. É também conhecido como malha *laid-in*;
- Tramados – produzidos em máquinas de malharia por urdume, chamadas tramadeiras, e são muito similares ao tecido plano, com a diferença que os fios de urdume são substituídos por colunas de malha. Com esse tecido, ganha-se em produção, pois a velocidade da tramadeira é muito superior à do tear plano;
- Tecidos não tecidos (TNT) – tecidos obtidos pelo entrelaçamento de camadas de fibras que se prendem umas às outras por meios físicos e/ou químicos, formando uma manta contínua. Podem ser:
  - » Feltro: é o tecido resultante do entrelaçamento de fibras de lã ou similares pela ação combinada de agentes mecânicos e produtos químicos;
  - » Folheado: é o tecido feito a partir de um véu de fibras têxteis, não feltrantes, mantidas juntas por meio de um adesivo ou por fusão de fibras termoplásticas. Apresenta três tipos, quais sejam, com as fibras orientadas, com as fibras cruzadas e com as fibras dispostas ao acaso.

Além dos tecidos planos e das malhas, existe o grupo dos tecidos especiais obtidos por processos dos quais resultam uma estrutura mista de tecido plano, malha e não tecido, ou ainda, como resultante de soluções de polímeros de fibras aplicadas aos tecidos. Estes podem ser:

- Laminados – são estruturas obtidas pela colagem de dois tecidos diferentes ou pela simples aplicação de um impermeabilizante químico a um tecido qualquer;
- Malimo – tecidos que levam o nome da máquina onde são produzidos. É uma estrutura obtida pela sobreposição, sem entrelaçamento, de camada de urdimento sobre a camada de trama e cuja amarração é obtida por uma cadeia de pontos de malha;
- Filmes – não são estruturas têxteis, aproximando-se mais da textura do papel. São, todavia, produzidos a partir de soluções de fibras têxteis, mais frequentemente de nylon. Podem aparecer isolados ou laminados com outro tecido.

Considerando a crise mundial e a crescente importação de produtos asiático, já descrita no segmento de fiação, quando a compra de produtos têxteis despencou, pode-se observar que o segmento de tecelagem (tecidos e malhas) acompanhou a crise, como mostra a Tabela 4, com queda de 8% na produção entre 2010 e 2013.



Tabela 4 – Produção Segmento de Tecelagem entre 2009 e 2013

| Natureza                        | Produção (toneladas) |                  |                  |                  |                  |
|---------------------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                 | 2009                 | 2010             | 2011             | 2012             | 2013             |
| <b>Algodão</b>                  | 800.807              | 839.365          | 780.995          | 752.879          | 772.213          |
| <b>Artificiais e Sintéticos</b> | 533.078              | 567.728          | 514.382          | 525.500          | 532.004          |
| Acetato                         | 102                  | 50               | 66               | 69               | 68               |
| Viscose                         | 14.727               | 15.665           | 14.568           | 14.189           | 12.703           |
| Nylon                           | 7.625                | 7.323            | 7.071            | 7.375            | 7.490            |
| Acrílico                        | 8.778                | 8.212            | 7.473            | 6.494            | 4.426            |
| Poliéster                       | 280.611              | 303.960          | 280.312          | 296.009          | 308.015          |
| Polipropileno                   | 221.235              | 232.518          | 204.892          | 201.364          | 199.302          |
| <b>Outros Naturais</b>          | 42.230               | 44.708           | 46.912           | 45.037           | 43.841           |
| Juta                            | 18.116               | 19.735           | 16.646           | 14.798           | 14.359           |
| Coco                            | 11.009               | 11.502           | 12.775           | 12.839           | 12.659           |
| Linho                           | 1.220                | 1.678            | 1.580            | 1.637            | 1.696            |
| Rami                            | 914                  | 722              | 690              | 701              | 676              |
| Sisal                           | 8.949                | 9.037            | 12.279           | 12.009           | 11.415           |
| Seda                            | 265                  | 203              | 410              | 481              | 419              |
| Lã                              | 992                  | 1.010            | 1.090            | 1.208            | 1.259            |
| Vidro                           | 765                  | 821              | 1.442            | 1.364            | 1.358            |
| <b>Total</b>                    | <b>1.376.115</b>     | <b>1.451.801</b> | <b>1.342.289</b> | <b>1.323.416</b> | <b>1.348.058</b> |

Fonte: Elaborado a partir de IEMI, 2014

Tabela 5 – Produção Segmento de Malharia entre 2009 e 2013

| Natureza                        | Produção (toneladas) |                |                |                |                |
|---------------------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                 | 2009                 | 2010           | 2011           | 2012           | 2013           |
| <b>Algodão</b>                  | 347.027              | 329.796        | 273.826        | 251.633        | 252.736        |
| <b>Artificiais e Sintéticos</b> | 290.197              | 276.649        | 248.581        | 250.679        | 251.778        |
| Viscose                         | 95.784               | 108.253        | 62.903         | 52.788         | 53.019         |
| Nylon                           | 63.881               | 66.177         | 65.385         | 66.914         | 67.207         |
| Poliéster                       | 128.330              | 100.123        | 118.513        | 129.229        | 129.796        |
| Polipropileno                   | 2.202                | 2.096          | 1.780          | 1.748          | 1.756          |
| <b>Outras Fibras</b>            | 108                  | 170            | 150            | 141            | 145            |
| <b>Total</b>                    | <b>637.332</b>       | <b>606.615</b> | <b>522.557</b> | <b>502.453</b> | <b>504.659</b> |

Fonte: Elaborado a partir de IEMI, 2014

### 1.3.3 BENEFICIAMENTO

Este segmento oferece serviços de acabamento e enobrecimento aos produtos dos setores anteriores, tanto para fios quanto para tecidos e malhas, tendo como finalidade melhorar as características visuais e de toque do material têxtil, além de algumas características específicas. Os produtos desse segmento são fios e tecidos beneficiados.

Tabela 6 – Produção Segmento de Beneficiamento entre 2009 e 2013

| Natureza                        | Produção (toneladas) |                |                |                |                |
|---------------------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                 | 2009                 | 2010           | 2011           | 2012           | 2013           |
| <b>Algodão</b>                  | 249.483              | 267.196        | 242.877        | 222.075        | 224.633        |
| <b>Artificiais e Sintéticos</b> | 73.089               | 69.208         | 64.522         | 60.050         | 62.367         |
| Viscose                         | 12.545               | 13.197         | 9.618          | 9.013          | 9.268          |
| Nylon                           | 1.008                | 1.029          | 1.204          | 1.232          | 1.016          |
| Acrílico                        | 23.430               | 23.945         | 22.118         | 19.322         | 21.047         |
| Poliéster                       | 33.210               | 28.368         | 29.323         | 28.258         | 28.597         |
| Polipropileno                   | 2.896                | 2.669          | 2.259          | 2.225          | 2.439          |
| <b>Outros Naturais</b>          | 2.466                | 2.286          | 2.360          | 2.407          | 2.263          |
| Juta                            | 509                  | 443            | 455            | 484            | 424            |
| Linho                           | 312                  | 316            | 330            | 317            | 288            |
| Rami                            | 259                  | 241            | 211            | 222            | 224            |
| Sisal                           | 186                  | 179            | 170            | 187            | 172            |
| Seda                            | 208                  | 190            | 201            | 193            | 186            |
| Lã                              | 992                  | 917            | 993            | 1.004          | 969            |
| <b>Total</b>                    | <b>325.038</b>       | <b>338.690</b> | <b>309.759</b> | <b>284.532</b> | <b>289.263</b> |

Fonte: Elaborado a partir de IEMI, 2014

### 1.3.4 CONFECÇÃO

A indústria de confecção tem como principal característica a fabricação de artefatos têxteis a partir de tecidos ou malhas. As peças e os acessórios são utilizados para vestuário, utilização profissional e/ou de interiores. As confecções brasileiras atuam nos seguintes setores:

- i)** Vestuário (masculino, feminino, infantil, uniformes, jeans, íntima, praia);
- ii)** Meias e acessórios (bonés, chapéus, luvas e calçados);
- iii)** Artigos para o lar (cama, mesa, banho e interiores);
- iv)** Outros (uniformes, esteiras e tecidos especiais).

Percebe-se crescimento negativo próximo a 4% de 2010 para 2012. Desde então, o segmento de confecção vem tentando sua recuperação. A Tabela 7 apresenta números de produção que permitem observar a crise no setor.

Tabela 7 – Produção Segmento de Confeção entre 2009 e 2013

| Segmento                | Produção (toneladas) |                  |                  |                  |                  |
|-------------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                         | 2009                 | 2010             | 2011             | 2012             | 2013             |
| <b>Vestuário</b>        | 5.201.081            | 5.627.657        | 5.515.444        | 5.302.109        | 5.355.374        |
| Tecidos planos          | 1.961.941            | 2.147.194        | 2.071.213        | 1.994.659        | 2.008.849        |
| Malhas                  | 3.239.140            | 3.480.463        | 3.444.231        | 3.307.450        | 3.346.525        |
| <b>Meias/Acessórios</b> | 736.869              | 809.082          | 805.436          | 823.101          | 816.981          |
| Tecidos planos          | 116.167              | 127.203          | 115.393          | 115.606          | 115.657          |
| Malhas                  | 620.702              | 681.879          | 690.043          | 707.495          | 701.324          |
| <b>Linha Lar</b>        | 1.053.445            | 1.010.488        | 899.376          | 920.288          | 956.942          |
| Tecidos planos          | 972.543              | 928.869          | 840.870          | 861.111          | 892.173          |
| Malhas                  | 80.902               | 81.619           | 58.506           | 59.177           | 64.769           |
| <b>Artigos Técnicos</b> | 2.386.918            | 2.389.217        | 2.343.822        | 2.301.676        | 2.329.296        |
| Tecidos planos          | 2.330.357            | 2.332.609        | 2.288.280        | 2.247.523        | 2.274.493        |
| Malhas                  | 56.561               | 56.608           | 55.542           | 54.153           | 54.803           |
| <b>Total</b>            | <b>9.378.313</b>     | <b>9.836.444</b> | <b>9.564.078</b> | <b>9.347.174</b> | <b>9.458.593</b> |
| Tecidos planos          | 5.381.008            | 5.535.875        | 5.315.756        | 5.218.899        | 5.291.172        |
| Malhas                  | 3.997.305            | 4.300.569        | 4.248.322        | 4.128.275        | 4.167.421        |

Fonte: Elaborado a partir de IEMI, 2014

## 1.4 PRINCIPAIS PROCESSOS DE PRODUÇÃO POR SEGMENTO DO SETOR TÊXTIL

A seguir, serão destacadas as principais etapas dos processos produtivos do setor têxtil, considerando a divisão das fibras têxteis (Figura 6).

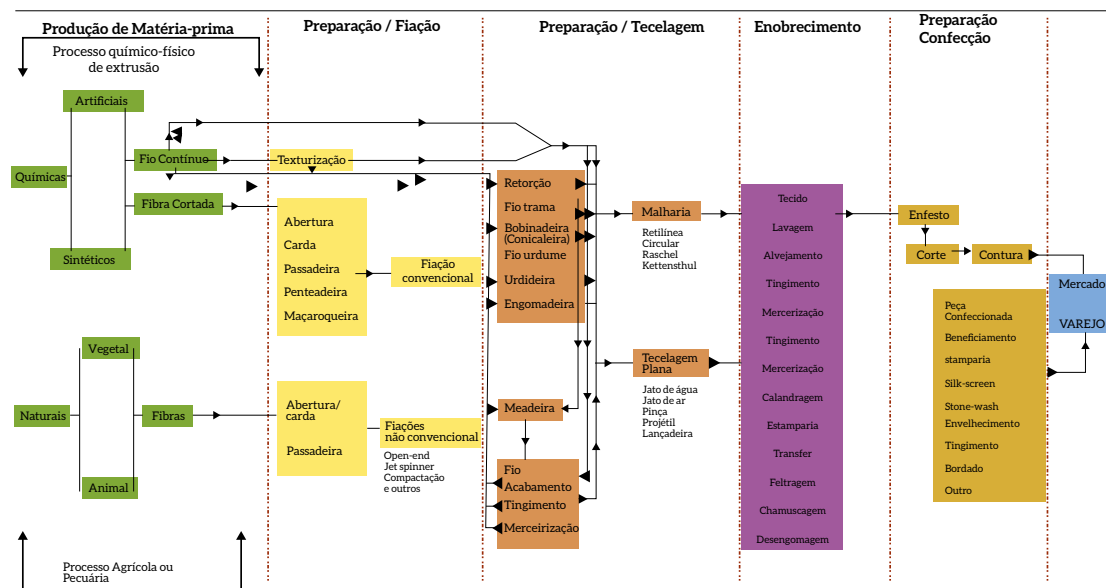


Figura 6 – Processos e Equipamentos por Segmento Têxtil

Fonte: SINDITÊXTIL, 2015

### 1.4.1 Fiação

O fio têxtil é o produto final da etapa de fiação, sendo que sua característica principal é o diâmetro ou a espessura (tecnicamente chamado de título do fio). No que concerne ao tipo de matéria-prima utilizada no Brasil, constata-se que cerca de 70% dessa fibra são de algodão; 25% de fibras artificiais e sintéticas; e 5% de linho, lã, seda e outras.

O processo de fiação compreende diversas operações por meio das quais as fibras são abertas, limpas e orientadas em uma mesma direção para, partindo disso, serem paralelizadas e torcidas de modo a se prenderem umas às outras por atrito. O Quadro 2 apresenta os principais processos do segmento de fiação e suas finalidades.

**Quadro 2 – Principais Processos do Segmento de Fiação e Suas Finalidades**

| Principais processos                                                                                                                                                          | Finalidade básica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fibras naturais<br>- abertura<br>- carda<br>- passadeira<br>- reunideira<br>- penteadeira<br>- maçarqueira<br>- filatório<br>- conicaleira<br>- retorcedeira<br>- vaporizador | Esses processos consistem basicamente em:<br><br>- remover impurezas da fibra;<br>- separar fibras de menor tamanho;<br>- paralelizar, estirar e torcer as fibras para confeccionar o fio;<br>- unir fios para a formação de fios retorcidos;<br>- enrolar os fios (mudança na forma de acondicionamento);<br>- fixar o fio, por meio de calor. |
| Fibras sintéticas/Artificiais<br>- chips<br>- extrusão<br>- bobinagem<br>- estiragem<br>- enrolamento<br>- texturização                                                       | Esses processos consistem basicamente em:<br><br>- elaboração dos fios;<br>- estirar, torcer e unir os fios;<br>- enrolar os fios (mudança na forma de acondicionamento);<br>- fixar o fio, por meio de calor.                                                                                                                                  |

Fonte: Elaborado a partir de CETESB, 2009

No segmento de fiação, algumas indústrias fazem o beneficiamento do fio visando vendê-los no mercado com diversos tipos e cores, prontos para utilização doméstica ou profissional no segmento de confecção. O Quadro 3 apresenta os principais processos de beneficiamento de fios e suas finalidades.

**Quadro 3 – Principais Processos de Beneficiamento de Fios e Suas Finalidades**

| Principais processos                                 | Finalidade básica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chamuscagem                                          | Eliminar fibrilas da superfície do material têxtil, por meio de queima.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Purga/Limpeza                                        | Remover materiais oleosos (graxos ou não) e impurezas através de reações de saponificação, emulsão e solvência para proporcionar hidrofiliidade ao substrato. Nota: As lavanderias utilizam esse processo para remoção das impurezas. Dependendo do grau de sujidade do material, outros produtos químicos poderão ser adicionados: agentes oxidantes, enzimas, ácidos etc. |
| Alvejamento                                          | Remover coloração amarelada (natural) do material têxtil.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Mercerização e caustificação (operações individuais) | Tratamento alcalino do material têxtil com objetivo de melhorar propriedades físico-químicas da fibra (brilho, aumento da afinidade por corante, estabilidade dimensional etc.). Nota: A diferença básica entre a mercerização e caustificação é que a primeira trabalha com maior concentração de álcali, sob tensão e em equipamento específico (mercerizadeira).         |
| Tingimento                                           | Conferir coloração ao material têxtil.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Estamparia                                           | Conferir coloração ao material têxtil de forma localizada.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Secagem                                              | Retirar umidade do material através de energia térmica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Compactação                                          | Proporcionar encolhimento do material (através de ação física), a fim de evitar encolhimento posterior da peça confeccionada, quando submetida à lavagem.                                                                                                                                                                                                                   |
| Calandragem                                          | Eliminar vincos e conferir brilho (mais utilizada em tecido de malha).                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Felpagem                                             | Conferir aspecto de felpa à superfície do material, podendo atuar como isolante térmico (utilizado em moletons, malhas <i>soft</i> etc.) ou apenas alterar o aspecto (felpado).                                                                                                                                                                                             |
| Amaciamento                                          | Conferir toque agradável ao material                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Acabamento antichama                                 | Evitar propagação de chama.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Fonte: Elaborado a partir de CETESB, 2009

## 1.4.2 TECELAGEM

O processo de tecelagem, ou formação do tecido propriamente dito, consiste em uma operação de cruzamento em ângulos retos de dois sistemas de fios paralelos (teia e trama), as quais passam por operações preliminares de preparação, conforme apresentado no Quadro 4.

**Quadro 4 – Principais Processos de Tecelagem/Malharia e Suas Finalidades**

| Principais processos | Finalidade básica                                                                               |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Urdimento            | Dispor fios de urdume provenientes de cones, em rolos de urdume.                                |
| Engomagem            | Aplicar película de goma (natural ou sintética) nos fios de urdume para posterior tecimento.    |
| Tecimento de tecido  | Confeccionar tecido plano (teares de pinça, de ar ou de água etc.).                             |
| Tecimento de malha   | Confeccionar tecido de malha utilizando teares circulares ou retilíneos (de cone ou de urdume). |

Fonte: Elaborado a partir de CETESB, 2009

### 1.4.3 BENEFICIAMENTO

Nesta etapa, o objetivo é preparar as telas da tecelagem, dando-lhes características de toque e resistência e transformando-as em tecidos prontos para utilização em outro segmento.

O beneficiamento pode ser dividido em três etapas:

- i)** Beneficiamento primário: conjunto de operações mecânicas, físicas, químicas, bioquímicas e físico-químicas destinadas a eliminar as impurezas das fibras têxteis e prepará-las para as outras fases de beneficiamento;
- ii)** Beneficiamento secundário: compreende o tingimento, que visa tornar os materiais têxteis coloridos, e a estamparia, que trata da aplicação de desenhos coloridos ao material têxtil;
- iii)** Beneficiamento terciário: agrega o conjunto de processos que objetivam dar ao material têxtil melhor estabilidade dimensional, melhor toque e características especiais, como impermeabilidade e proteção contra combustão.

De acordo com a sequência de operação, o beneficiamento pode ser classificado como:

- i)** Beneficiamento descontínuo: quando o material é beneficiado em quantidades limitadas (por partidas), sujeito à interrupção de renovação (máquina pequena);
- ii)** Beneficiamento contínuo: quando o material é tratado sem que ocorram paradas no processo (máquinas gigantes – várias operações);
- iii)** Beneficiamento semicontínuo: quando o material é transformado em uma sequência variável em termos de velocidade.

Quanto aos tratamentos no beneficiamento têxtil, podem ser divididos em quatro etapas:

- i)** Tratamentos molhados: são aqueles que empregam água como solvente, que solubiliza ou dispersa os insumos e se comporta como veículo, conduzindo os insumos para o substrato têxtil, resultando daí o benefício;
- ii)** Tratamentos físicos: são aqueles que utilizam elementos da física para produzir o benefício. Esses elementos são inerentes ao maquinário, exemplo: atrito, pressão, calor, chama e corte;
- iii)** Tratamentos secos: são aqueles nos quais são empregados solventes orgânicos que têm a finalidade de solvente e ao mesmo tempo de insumo, por exemplo, o percloroetileno;
- iv)** Tratamentos úmidos: são aqueles que independem da quantidade de solvente, podendo este ser água ou solvente orgânico ou ainda uma mistura de ambos que, quando aplicado junto a outros insumos, é suficiente tão somente para umedecer o substrato têxtil.

Um resumo dos principais processos e suas funções é apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Principais Processos de Beneficiamento e Suas Finalidades

| Principais processos         | Finalidade básica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chamuscagem                  | Eliminar fibrilas da superfície do material têxtil por meio de queima.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Desengomagem                 | Remover a goma aplicada ao fio de urdume durante o processo de engomagem de fios (aplicado para favorecer o tecimento).                                                                                                                                                                                                                                                |
| Purga/Limpeza                | Remover materiais oleosos (graxos ou não) e impurezas através de reações de saponificação, emulsão e solvência.<br>Nota: As lavanderias utilizam esse processo para remoção das impurezas. Dependendo do grau de sujidade do material, outros produtos químicos poderão ser adicionados: agentes oxidantes, enzimas, ácidos etc.                                       |
| Alvejamento                  | Remover coloração amarelada (natural) do material têxtil.                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Mercerização e caustificação | Tratamento alcalino do material têxtil com objetivo de melhorar propriedades físico-químicas da fibra (brilho, aumento da afinidade por corante, estabilidade dimensional etc.).<br>Nota: A diferença básica entre a mercerização e caustificação é que a primeira trabalha com maior concentração de álcali, sob tensão e em equipamento específico (mercerizadeira). |
| Efeito “seda”                | Tratamento alcalino do material têxtil de poliéster com objetivo de conferir toque sedoso.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Tingimento                   | Conferir coloração ao material têxtil.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Estamparia                   | Conferir coloração de forma localizada ao material têxtil.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Secagem                      | Retirar umidade do material através de energia térmica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Sanforização                 | Proporcionar encolhimento do material (através de ação física) a fim de evitar encolhimento posterior da peça confeccionada, quando submetida à lavagem.                                                                                                                                                                                                               |
| Calandragem                  | Eliminar vincos e conferir brilho (mais utilizada em tecido de malha).                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Felpagem                     | Conferir aspecto de felpa à superfície do material podendo atuar como isolante térmico (utilizado em moletens, malhas <i>soft</i> etc.) ou apenas alterar o aspecto (felpado).                                                                                                                                                                                         |
| Navalhagem                   | Cortar/Aparar pelos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Esmerilhagem                 | Espécie de lixamento da superfície do material a fim de melhorar o toque, tirando o brilho.                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Amaciamento                  | Conferir toque agradável ao material.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Repelência água/óleo         | Conferir repelência à água e às sujidades.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Acabamento antirruga         | Evitar amarrotamento.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Encorpamento                 | Conferir toque volumoso ou encorpado ao material.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Acabamento antichama         | Evitar propagação de chama.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

Fonte: Elaborado a partir de CETESB, 2009

#### 1.4.4 CONFECÇÃO

A confecção envolve os processos de criação, desenvolvimento técnico, modelagem, pilotagem, aprovação, gradação e produção. Cada etapa tem seu ciclo e funções delimitadas, sendo fundamental a comunicação entre os membros da equipe.

Todo o processo começa com a criação. Com a pesquisa de tendência em mãos, a equipe parte para a definição do conceito da coleção e seu planejamento. Feitos os croquis, entra em pauta o desenvolvimento técnico do produto.

A modelagem é outra etapa fundamental. Tendo como base as informações da criação e da ficha técnica, os moldes que compõem cada peça começam a ser desenvolvidos, passando para a prototipagem e aprovação. Com todas essas etapas definidas, a peça ou coleção chega à produção, passando pelos processos apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 – Principais Processos de Confecção e Suas Finalidades

| Principais processos | Finalidade básica                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Modelagem            | O esboço idealizado pelo estilista é preparado em papel ou sistema computadorizado, gerando o molde base.                                                                                                           |
| Enfesto              | Etapa que aumenta o rendimento do corte do tecido. Este é feito em diversas folhas de tecido (camadas sobrepostas).                                                                                                 |
| Corte                | O corte do enfesto é a base da confecção que pode ser feito com faca circular ou com serra vertical.                                                                                                                |
| Costura              | Tem a finalidade de unir os diferentes componentes de uma peça de vestuário pela formação de uma costura, utilizando técnicas mecânicas (costura), física (solda ou termofixação) ou química (por meio de resinas). |
| Acabamento           | Envolve o arremate das peças (sistema não automatizado), a revisão para verificação da qualidade da costura, passadoria e lavanderia de peças.                                                                      |
| Embalagem/Expedição  | Envolve a embalagem da confecção utilizando saco plástico, papel, caixa de papelão etc.                                                                                                                             |

Fonte: Elaborado a partir de CETESB, 2009

O sucesso das indústrias de confecção está diretamente ligado ao conhecimento profundo do seu público-alvo. Além dos gostos e valores desse público, a tabela de medidas utilizada na construção dos moldes deve ser avaliada e adaptada, permitindo que o consumidor final receba um produto que tenha, ao mesmo tempo, conforto, bom corte e caimento, além de seguir os padrões estéticos definidos.

### 1.5 TECNOLOGIAS, USO, CONSUMO FINAL E ESPECÍFICO DE ENERGIA

Os equipamentos adotados pelos segmentos do setor consomem basicamente energia elétrica e energia térmica. O consumo de energia elétrica se distribui por todos os segmentos do setor têxtil, e o consumo de energia térmica se concentra no segmento de beneficiamento (enobrecimento).



Nos processos térmicos, normalmente, são empregadas caldeiras de vapor saturado, operando nas faixas de pressão de 5 a 12 kgf/cm<sup>2</sup>, com temperaturas de 150 a 185°C. Para demandas pequenas e médias, são empregadas de forma mais frequente as caldeiras flamotubulares, enquanto, para demandas médias/elevadas, são mais utilizadas as caldeiras aquatubulares. Quando o processo solicita temperaturas maiores que 185°C, normalmente, são empregados aquecedores de fluido térmico, já que com vapor saturado exigiria pressões elevadas, encarecendo o equipamento.

Quanto aos combustíveis utilizados, prepondera o uso do gás natural (23%), seguido de lenha (7%), GLP (4%) e óleo combustível (2%). O consumo de energia elétrica é o mais relevante no setor, com 64% do consumo total de energia em 2016 (EPE, 2017).

O Quadro 7 apresenta as utilidades do setor têxtil e suas finalidades básicas.

**Quadro 7 – Principais Tecnologias Utilizadas nos Segmentos do Setor Têxtil Que Emitem GEE**

| Apoio/Suporte                                   | Finalidade básica                                                                                                                                                                                       | Serviço energético | Combustíveis consumidos |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Gerador de vapor (caldeira)                     | Fornecer vapor para os equipamentos e/ou operações que envolvem transferência de calor.                                                                                                                 | Energia térmica    | GN, óleo, lenha         |
| Aquecedor de fluido térmico                     | Fornecer fluido aquecido para os equipamentos e/ou operações que envolvem transferência de calor.                                                                                                       | Energia térmica    | GN, óleo, lenha         |
| Compressores de ar                              | Fornecer ar comprimido para equipamentos pneumáticos.                                                                                                                                                   | Energia elétrica   | Eletricidade            |
| Armazenamento de GLP                            | Fornecimento de combustível para processo de combustão (caldeira, rama, chuscagem etc.).                                                                                                                | Energia elétrica   | Eletricidade            |
| Sistema de climatização                         | Realiza a circulação do ar interior dos prédios, mantendo condições específicas para fiação, tecelagem e outros.                                                                                        | Energia elétrica   | Eletricidade            |
| Estação de tratamento de água – ETA             | Trata da unidade responsável pela captação (superficial ou subterrânea) e tratamento de água bruta que processa e purifica a água para uso na linha de produção ou mesmo para consumo humano (potável). | Energia elétrica   | Eletricidade            |
| Sistema de tratamento de águas residuais – STAR | Trata dos efluentes líquidos de origem industrial e doméstico, gerados numa planta industrial. Despeja e armazena temporariamente o lodo gerado.                                                        | Energia elétrica   | Eletricidade            |
| Armazenamento de produtos perigosos             | Instalações e sistema de proteção para armazenamento de produtos perigosos.                                                                                                                             | Energia elétrica   | Eletricidade            |
| Atividades administrativas                      | Trata das etapas e atividades de suporte na administração da empresa.                                                                                                                                   | Energia elétrica   | Eletricidade            |

Fonte: Adaptado de CETESB, 2009

### 1.5.1 CONSUMO DE ENERGIA

A indústria têxtil tem diminuído sua representatividade na economia brasileira, tanto na geração de riqueza quanto no consumo de energia. Isso se deve, principalmente, a dois fatores: perda da competitividade da indústria local e perda do poder de compra da população brasileira, em virtude da inflação, o que reduz a demanda por produtos têxteis.

Na década de 1980, o óleo combustível predominava na matriz energética da indústria têxtil. Essa participação tem caído vertiginosamente em face da substituição pelo gás natural.

Na Figura 7, pode-se perceber que, em 2006, a predominância já era da eletricidade, seguida pelo gás natural, deixando a lenha em terceiro lugar. Essa substituição se dá, dentre outros motivos, pela menor poluição ambiental produzida pela queima do gás natural, visto que as indústrias têxteis estão localizadas, em sua maioria, em concentrações urbanas. Mais do que isso, deve-se à disponibilidade de gás natural nos grandes centros urbanos.

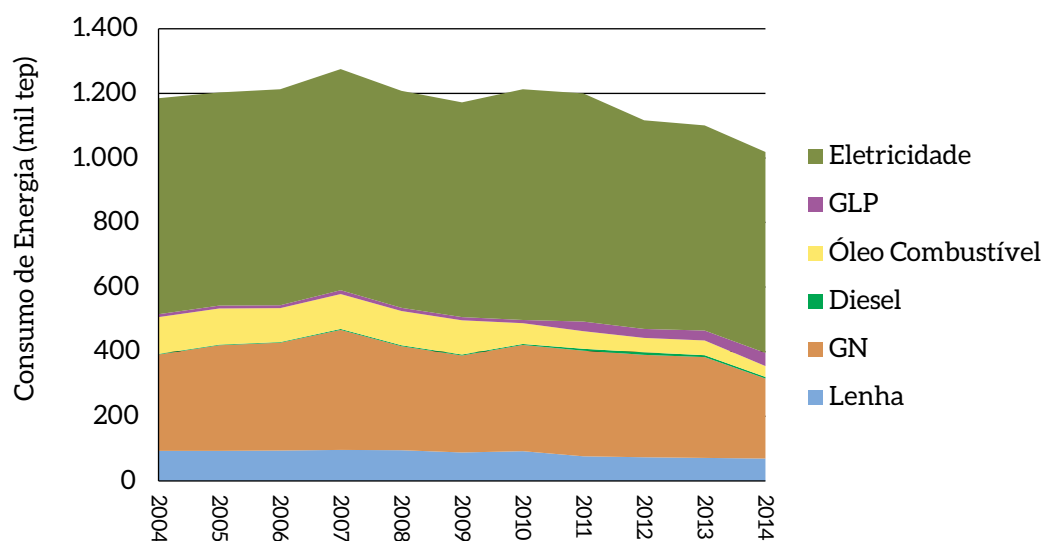


Figura 7 – Evolução do Consumo de Energéticos do Setor Têxtil

Fonte: Elaboração própria

Os combustíveis utilizados pelo setor têxtil, em 2014, representam 39% da demanda energética total do setor, enquanto a energia elétrica representa 61% do consumo energético total.

O consumo de óleo combustível e de lenha no setor vem decrescendo gradativamente desde 1993, embora, no caso da lenha, de forma menos intensa e com perspectivas de retorno do crescimento em torno de 2017, devido ao aumento anual significativo de oferta de eucalipto. Nesse sentido, deve-se destacar que essa tendência também é constatada pelo setor de agricultura, florestas e outros usos do solo (Afolu) no projeto.

Correlacionando-se o consumo energético por setor e segmentos constante do Anexo com a produção correspondente (seção 1.3), são obtidos consumos energéticos específicos (Tabela 8).

Tabela 8 – Consumos Específicos de Eletricidade e Combustíveis do Setor Têxtil

| Consumos específicos de energia         | 2006         | 2007         | 2008         | 2009         | 2010         | 2011         | 2012         | 2013         |
|-----------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Eletricidade (kWh/t fibras processadas) | 4.491        | 4.503        | 3.760        | 3.702        | 3.697        | 4.088        | 3.900        | 3.921        |
| Combustíveis (tep/t fibras processadas) | 0,314        | 0,334        | 0,258        | 0,243        | 0,221        | 0,246        | 0,245        | 0,247        |
| Eletricidade (kcal/kg)                  | 3.863        | 3.872        | 3.234        | 3.183        | 3.179        | 3.516        | 3.354        | 3.372        |
| Combustíveis (kcal/kg)                  | 3.141        | 3.335        | 2.579        | 2.427        | 2.210        | 2.456        | 2.449        | 2.475        |
| <b>Total (kcal/kg)</b>                  | <b>7.004</b> | <b>7.207</b> | <b>5.813</b> | <b>5.610</b> | <b>5.389</b> | <b>5.972</b> | <b>5.803</b> | <b>5.847</b> |

Fonte: Elaborado pelo autor

Este estudo considera a segmentação do setor pelos processos de fiação, tecelagem, malharia, confecção e beneficiamento, aos quais estão respectivamente associados os produtos fios, tecidos planos, malhas, peças confeccionadas e fios/tecidos tintos ou beneficiados. Dessa forma, a Tabela 9 e a Figura 8 mostram a evolução dos consumos específicos de energia entre 2006 e 2013, por segmento da indústria têxtil.

O consumo específico de eletricidade cresceu de 2009 a 2011 e caiu nos anos seguintes, atingindo valores menores do que o valor inicial da série. Os consumos específicos de energia térmica e total de energia tiveram comportamento semelhante.

Conclui-se que a indústria têxtil vem perdendo participação no consumo de energia nacional. Isso pode se dar por estar utilizando processos mais eficientes ou por algumas unidades fabris estarem fechando devido à pesada concorrência internacional. Em particular, a análise da evolução tendencial de eficientização do setor será relevante para a construção do cenário REF, com foco no consumo de energia e nas emissões de GEE.

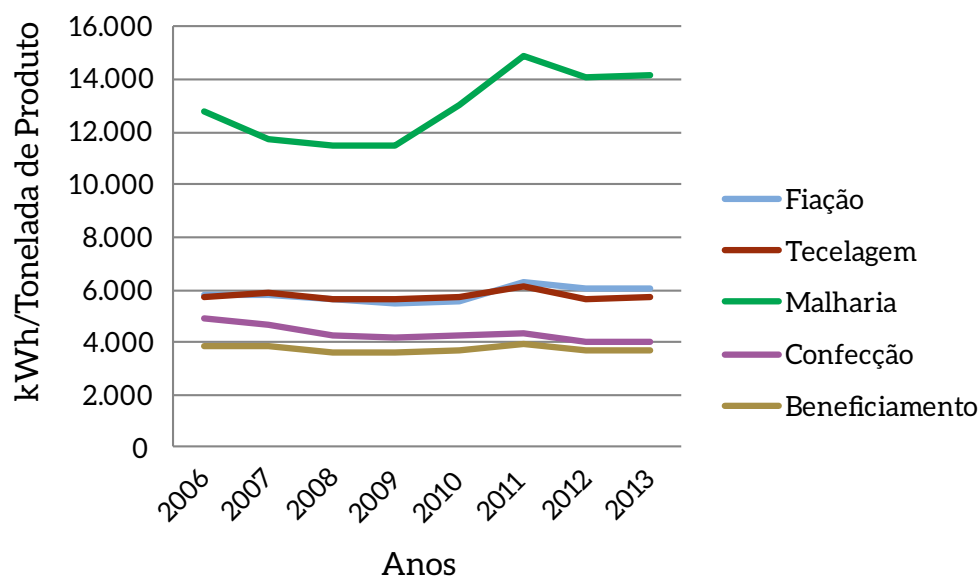


Figura 8 – Consumo Específico de Eletricidade por Segmento entre 2006 e 2013

Fonte: Elaboração própria

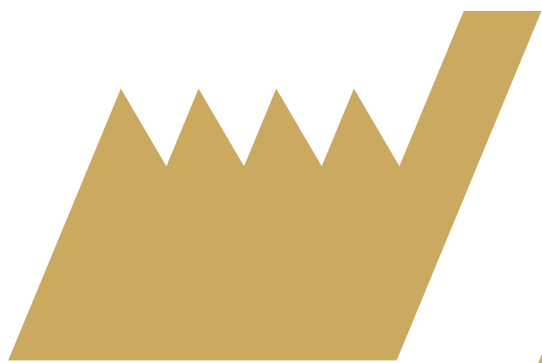
Tabela 9 – Consumo Específico de Eletricidade e Combustíveis por Segmento do Setor Têxtil

| Consumos específicos de energia                                 | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   |
|-----------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Consumos Específicos Segmento Fiação</b>                     |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Eletricidade (kWh/t de fibras processadas)                      | 5.782  | 5.839  | 5.618  | 5.489  | 5.589  | 6.318  | 6.008  | 6.042  |
| Combustíveis (tep/t de fibras processadas)                      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Eletricidade (kcal/kg)                                          | 4.972  | 5.022  | 4.831  | 4.720  | 4.806  | 5.432  | 5.187  | 5.198  |
| Combustíveis (kcal/kg)                                          | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| <b>Consumos Específicos Segmento Tecelagem – Tecidos Planos</b> |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Eletricidade (kWh/t de tecidos planos)                          | 5.681  | 5.848  | 5.608  | 5.619  | 5.727  | 6.125  | 5.667  | 5.699  |
| Combustíveis (tep/t de tecidos planos)                          | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Eletricidade (kcal/kg)                                          | 4.885  | 5.029  | 4.823  | 4.832  | 4.925  | 5.267  | 4.874  | 4.901  |
| Combustíveis (kcal/kg)                                          | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| <b>Consumos Específicos Segmento Tecelagem – Malhas</b>         |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Eletricidade (kWh/t de malhas)                                  | 12.763 | 11.731 | 11.507 | 11.508 | 13.022 | 14.853 | 14.049 | 14.128 |
| Combustíveis (tep/t de malhas)                                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Eletricidade (kcal/kg)                                          | 10.976 | 10.089 | 9.896  | 9.896  | 11.199 | 12.773 | 12.082 | 12.150 |
| Combustíveis (kcal/kg)                                          | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| <b>Consumos Específicos Segmento Confecção</b>                  |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Eletricidade (kWh/t de fibras processadas)                      | 4.914  | 4.687  | 4.237  | 4.179  | 4.218  | 4.328  | 4.023  | 4.046  |
| Combustíveis (tep/t de fibras processadas)                      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Eletricidade (kcal/kg)                                          | 4.226  | 4.030  | 3.644  | 3.594  | 3.628  | 3.722  | 3.460  | 3.480  |
| Combustíveis (kcal/kg)                                          | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| <b>Consumos Específicos Segmento Beneficiamento</b>             |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Eletricidade (kWh/t de fibras processadas)                      | 3.890  | 3.829  | 3.613  | 3.575  | 3.677  | 3.958  | 3.703  | 3.724  |
| Combustíveis (tep/t de fibras processadas)                      | 0,272  | 0,284  | 0,248  | 0,234  | 0,220  | 0,238  | 0,233  | 0,235  |
| Eletricidade (kcal/kg)                                          | 3.345  | 3.293  | 3.107  | 3.075  | 3.182  | 3.404  | 3.185  | 3.203  |
| Combustíveis (kcal/kg)                                          | 2.720  | 2.836  | 2.478  | 2.344  | 2.198  | 2.378  | 2.326  | 2.350  |
| Total Segmento de Beneficiamento (kcal/kg)                      | 6.065  | 6.129  | 5.585  | 5.419  | 5.380  | 5.782  | 5.511  | 5.553  |

Fonte: Elaboração própria

Observa-se que o segmento de tecelagem tem o maior consumo específico dentre os outros segmentos do setor. Esse resultado se dá devido ao grande consumo de eletricidade dos equipamentos das malharias, principalmente os teares de trama e urdume. Daí a preocupação em adquirir teares de última geração com automações associadas para melhorar o consumo específico do segmento.

A competitividade no mercado têxtil tem sofrido constante aumento, o que provoca a necessidade de monitorização redobrada no principal centro de custo, que é a energia. Por isso, a eficiência energética e os custos de energia devem ser analisados por vetor energético, por secção e por máquina, com vista a um processo de melhoria contínua. Daí a importância das análises de consumo específico, as quais permitirão mensurar, a partir da introdução de MTD para o setor, no cenário BC, o impacto em termos de redução no consumo de energia e emissões de GEE.



# Melhores tecnologias disponíveis aplicáveis aos processos produtivos do setor têxtil

Capítulo

**2**

## 2 MELHORES TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS APLICÁVEIS AOS PROCESSOS PRODUTIVOS DO SETOR TÊXTIL

Objetiva-se neste capítulo mapear as MTD que promoveriam a eficientização de processos produtivos no setor têxtil.

As MTD são apresentadas a cada quatro anos num evento conhecido como *The International Exhibition of Textile Machinery*. O evento se encontra em sua 18ª edição e é organizado pelo European Committee of Textile Machinery Manufacturers. Sua última versão ocorreu em Yiwu/China, de 13 a 15 de julho de 2017.

Em termos de máquinas e dispositivos da preparação e da tecelagem, as seguintes melhorias potenciais foram destacadas no evento (YIWUTEX, 2017):

- Aumento da velocidade de inserção da trama;
- Aumento da precisão, sensibilidade, exatidão e, conseqüentemente, confiabilidade dos dispositivos e dos elementos atuadores sobre os fios;
- Redução no consumo de insumos produtivos, com conseqüente redução do impacto ambiental no efluente;
- Aumento na versatilidade de acomodações dos fios no entrelaçamento do tecido;
- Aumento da capacidade de desenvolvimento de amostras de tecidos inovadores e criativos a serem testados;
- Redução da necessidade de mão de obra;
- Aumento da versatilidade de tramas diferentes em teares a jato de ar;
- Redução na deformação produtiva dos fios e tecido;
- Aumento da confiabilidade na seleção sequencial de fios da camada engomada, com padrões listrados complexos, na operação de emenda ou remeteção;
- Redução do espaço físico ocupado pelos dispositivos;
- Redução de desperdício de fios;
- Aumento do controle dos parâmetros produtivos;
- Novos sistemas automáticos de tecimento, como as franjas de tapete, o bordado simultâneo e o tear vertical de tapete com entrelaçamento por “nós”;

- Aumento da definição dos efeitos visuais pelo uso de fios de urdume mais finos e com maior densidade de fios;
- Aumento da confiabilidade na ausência de contaminação com corpos estranhos nas tramas do tecido;
- Aumento da versatilidade no desenvolvimento de pequenas faixas de tecido com entrelaçamento *jacquard* ao longo da largura do tecido;
- Aumento da confiabilidade na transferência de grande volume de dados digitais;
- Aumento da confiabilidade na prevenção do funcionamento dos dispositivos;
- Melhoria nos aspectos ergonômicos;
- Redução de ruído;
- Aumento da versatilidade produtiva de teares para produção de tecidos multicamadas;
- Aumento da versatilidade na alteração da capacidade de comandos *jacquard* nas extremidades do pavilhão;
- Aumento da durabilidade dos dispositivos e elementos atuadores sobre os fios;
- Aumento da eficiência operacional para ajustes no tecimento; e
- Aumento da compatibilidade e modularização dos dispositivos.

Partindo das melhorias potenciais citadas, foram selecionadas melhores práticas e/ou tecnologias fundamentais para tornar a indústria têxtil mais eficiente em termos de produtividade e intensidade de consumo de energia e emissões de GEE. Inicialmente, serão descritas as MTD para, partindo disso, serem destacados parâmetros técnico-econômicos que posteriormente serão considerados com vistas a mensurar os custos marginais de abatimento da adoção de um cenário de baixo carbono no setor.

## 2.1 PRINCÍPIOS OPERATIVOS DAS MTD

### 2.1.1 AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE COMBUSTÃO NAS CALDEIRAS

Esse tipo de ação tem o objetivo final de reduzir o consumo de combustíveis mediante a otimização das condições de combustão nas caldeiras. Essas condições ideais podem ser alcançadas mediante o controle dos níveis de excesso de ar e da perfeita atomização dos combustíveis dos queimadores.

A regulagem da relação ar/combustível pode ser realizada por meio de instrumentos portáteis de baixo custo, que medem teor de CO<sub>2</sub>, oxigênio, temperatura dos gases de exaustão dos equipamentos e outros parâmetros que permitem estabelecer níveis mínimos de excesso de ar na combustão, levando a máxima eficiência do equipamento.

### 2.1.2 RECUPERAÇÃO DE CONDENSADO

O condensado formado dos equipamentos utilizadores de vapor ainda tem quantidade considerável de calor sob a forma de calor sensível. Essa parcela, nos equipamentos de troca indireta, não é repassada ao processo ou produto, estando disponível para recuperação e representando ganhos

significativos para as caldeiras em termos de eficiência, o que se reflete na economia de combustíveis. Além disso, o aumento do volume de condensado recuperado permite reduzir o volume de água de complementação (água em temperatura ambiente).

Para efetivar a recuperação do condensado, os purgadores devem estar em perfeito estado, e todo o condensado deve ser canalizado em tubulações termicamente isoladas. Podem-se obter maiores volumes de condensado por meio de modificações nos equipamentos, substituindo o uso de vapor direto por indireto em serpentinas com trocadores, quando o processo permitir.

### 2.1.3 USO DO VAPOR REEVAPORADO (VAPOR *FLASH*)

A intenção é aproveitar o calor disponível do condensado em pressões médias e altas. Essa recuperação se dá via reevaporação de condensado (em pressões elevadas), quando este é descomprimido (expandido) em um vaso ou tanque a uma pressão menor. O vapor assim obtido pode ser utilizado para aquecimento em equipamentos que operem com vapor a baixa pressão.

O aproveitamento do vapor *flash* só faz sentido em instalações onde coexistem equipamentos que utilizam vapor a altas e baixas pressões. O vapor reevaporado será utilizado para abastecer o equipamento que usa vapor a baixa pressão, reduzindo o consumo de vapor vivo proveniente da caldeira.

O sistema funciona com a recuperação e a expansão de condensado de alta pressão para pressões inferiores em tanques de expansão. O vapor formado nesse tanque é dirigido para equipamentos que utilizam vapor a baixa pressão, enquanto o condensado, agora também a baixa pressão, segue para os tanques de condensado. Nesse caso, ocorre a economia de energia pela não produção de vapor para esses equipamentos.

### 2.1.4 RECUPERAÇÃO DE CALOR DOS EFLUENTES LÍQUIDOS

Por meio desse processo, busca-se a recuperação de calor sensível contido nas águas dos efluentes líquidos provenientes dos processos de beneficiamento, acabamento, enobrecimento de tecidos e fios, nos quais é utilizada grande quantidade de água aquecida com vapor direto e indireto.

Esses efluentes líquidos provêm de equipamentos que operam com água aquecida até 95°C que, após o uso nos processos, é lançada para os drenos. Por conterem quantidade de calor residual significativa (70°C), os efluentes podem ser coletados num tanque isolado termicamente, filtrados para a separação de partículas sólidas (fibras de fios e tecidos) e bombeados para o trocador de calor tipo placa para aquecer água limpa fria até 60°C, que será usada nos próprios processos de beneficiamento de tecidos, permitindo recuperar, assim, até 50% de calor requerido nesse segmento.

Alguns produtos químicos usados nesse segmento são corrosivos, por isso os equipamentos usados na recuperação de calor dos efluentes líquidos devem ser de materiais resistentes à corrosão. O mercado oferece filtros separadores de fibras sólidas e trocadores de calor fabricados especificamente para esse tipo de serviço.



## 2.1.5 RECUPERAÇÃO DE CALOR DE AR E GASES DE EXAUSTÃO

Esse processo visa à recuperação de parcela de calor sensível contido nos fluidos usados nos processos, como no ar aquecido usado na secagem ou gases de exaustão da combustão em caldeiras geradoras de vapor e aquecedores de fluido térmico. O calor recuperado pode ser usado para o aquecimento da água de alimentação das caldeiras geradoras de vapor, para o aquecimento do ar usado no processo de secagem ou para o aquecimento do ar secundário da combustão em caldeiras ou aquecedores.

No caso de gases de exaustão da combustão de óleo combustível, o resfriamento dos gases não deve ser abaixo de 190°C, o que visa evitar problemas de condensação de vapores que poderiam determinar problemas de corrosão nos tubos do trocador de calor. No caso de gases de exaustão provenientes da combustão de gás natural, o resfriamento dos gases pode ser até 140°C devido à ausência de enxofre na composição química do gás natural, o que permite a recuperação de uma parcela maior de calor que pode representar até 7% do consumo do combustível do equipamento.

## 2.1.6 ISOLAMENTO TÉRMICO DE TUBULAÇÕES E EQUIPAMENTOS

O objetivo desse processo é reduzir as perdas térmicas por radiação e convecção das superfícies externas de equipamentos e tubulações. A redução das perdas de calor pelo isolamento térmico é uma maneira prática de conseguir economias significativas de energia, utilizando materiais isolantes disponíveis no mercado. Os materiais disponíveis são encontrados nas formas de calhas, mantas, placas e painéis, que permitem reduzir as perdas de calor para 15% (considerando-se a eficiência do isolamento em 85%).

## 2.1.7 SUBSTITUIÇÃO DO COMBUSTÍVEL DAS CALDEIRAS

A conversão de caldeiras para o uso do gás natural depende, sobretudo, de suas características. A conversão de caldeiras a óleo combustível e GLP é mais simples e barata, mas as de combustão a lenha (sobre grelha), mais difícil. A seguir, serão detalhadas as possibilidades de substituição de combustíveis por tipo de caldeira.

### 2.1.7.1 CALDEIRAS A ÓLEO COMBUSTÍVEL E GLP

Não são necessárias mudanças estruturais e quase sempre é possível instalar os queimadores de gás natural em torno das lanças de óleo. As lanças de óleo são mantidas, como medida de segurança, para dispor de um combustível suplementar ou de emergência. Por sua vez, os queimadores a GLP precisam ser adaptados para a combustão de gás natural. De modo geral, podem-se utilizar os mesmos dispositivos de controle.

A conversão ao gás natural resulta, normalmente, em pequeno aumento de rendimento devido à redução do excesso de ar e da deposição de cinzas sobre as superfícies. Dependendo do tipo de caldeira, a temperatura do vapor superaquecido poderá manter-se ou aumentar. Testes realizados pelo Instituto Nacional de Tecnologia (HENRIQUES JR., 2010) em 65 caldeiras mostraram que, apesar de as perdas pela chaminé aumentarem cerca de 2,5% devido à presença de mais vapor d'água, as outras perdas térmicas são menores, e o rendimento total da caldeira aumenta em cerca de 3,5%.

### 2.1.7.2 CALDEIRAS A COMBUSTÍVEL SÓLIDO COM COMBUSTÃO SOBRE GRELHA

A potência térmica da caldeira pode aumentar até 8% devido à combustão mais limpa e rápida. O requisito essencial é que o volume da câmara seja suficiente para a combustão do gás natural. Essa condição é sempre satisfeita em caldeiras de radiação com fornalha integrada. A distância entre a soleira e os primeiros tubos deve ser suficiente para acomodar a chama, podendo ser necessário retirar a grelha. Caso a grelha seja mantida, é necessário protegê-la com material refratário. Em alguns casos, é possível a combustão simultânea de gás natural e carvão. Caso haja aumento da capacidade de vaporização, pode ser necessária a substituição das válvulas de segurança. É recomendável instalar paredes de tubos de água em toda a fornalha, para resfriar as paredes refratárias, e aumentar a capacidade de evaporação da caldeira. Caso os painéis existentes sejam de tubos recobertos, devem-se descobrir os tubos, salvo nos pontos em contato com a chama.

O modelo de fornalha muitas vezes impossibilita a instalação dos queimadores na parede frontal. Os queimadores podem ser instalados nas laterais, mas em muitas caldeiras existe pouco espaço para instalar corretamente os dutos de ar e os queimadores. Nessa conversão, a posição dos queimadores na caldeira é crítica: se instalados no alto, a temperatura do vapor superaquecido torna-se excessiva; se instalados embaixo, aquece a grelha, soleira e paredes inferiores. Como a chama do gás emite menos calor por radiação e seu comprimento de chama é maior que na combustão da lenha ou do óleo, deve-se evitar o contato da chama com a soleira ou as paredes laterais da fornalha.

O volume dos produtos da combustão é cerca de 20% menor, diminuindo a potência necessária de tiragem, e o ventilador de tiragem forçada poderá ser conservado. O aumento da pressão de tiragem é recomendado, pois facilita a combustão do gás pelo aumento da turbulência.

Deve ser evitada qualquer infiltração de ar na fornalha, pois ela cria instabilidades, dificultando que a combustão se complete na fornalha, o que levaria à formação de chamas longas que atingiriam o superaquecedor. O ar de combustão deve ser igualmente distribuído por todos os queimadores de modo a evitar problemas. A perda de carga dos queimadores deve ser igual à que existia no leito de combustão.

### 2.1.7.3 CALDEIRAS DE CARVÃO PULVERIZADO

De modo geral, não é necessária modificação da câmara de combustão. Em algumas fornalhas, pode ser necessário modificar ou substituir o circuito de ar e instalar os queimadores de gás em posição distinta dos queimadores de carvão. O gás natural contém maior teor de hidrogênio que o óleo combustível e o carvão. Alto teor de hidrogênio no combustível produz correspondente alto teor de vapor d'água nos produtos da combustão, fator que contribui para reduzir a eficiência da fornalha.

No setor têxtil, o GN é particularmente indicado, por sua pureza, nas operações de pré-tratamento, secagem e chamuscagem. Nas operações de tingimento e estampagem, nas quais o produto é imerso em um banho, o uso de queimadores submersos possibilita elevados ganhos de eficiência e redução no consumo energético. Tendo em vista que o vapor é o principal vetor energético dos processos de tratamento, a cogeração mostra-se uma alternativa de otimização do uso de energia nesse setor.

## 2.1.8 COGERAÇÃO

O setor têxtil tem sido importante utilizador de sistemas de cogeração, tendo em vista as elevadas necessidades energéticas presentes nos seus processos de fabricação. Habitualmente, os custos energéticos se situam em torno de 6% a 8% dos custos totais, valor que pode atingir 15% em empresas dos subsectores de tinturaria, acabamentos e estamparia devido às suas elevadas necessidades de água quente e vapor.

É um setor que se caracteriza por diagramas de carga bastante variáveis, quer em termos de intensidade energética, quer em termos de horas diárias de funcionamento. Logo, é importante o correto dimensionamento dos equipamentos a instalar sob pena de não obter resultados económicos satisfatórios.

Na Figura 9, apresenta-se um diagrama simplificado do antes e do depois de uma instalação de cogeração, mostrando-se o aproveitamento energético possível.

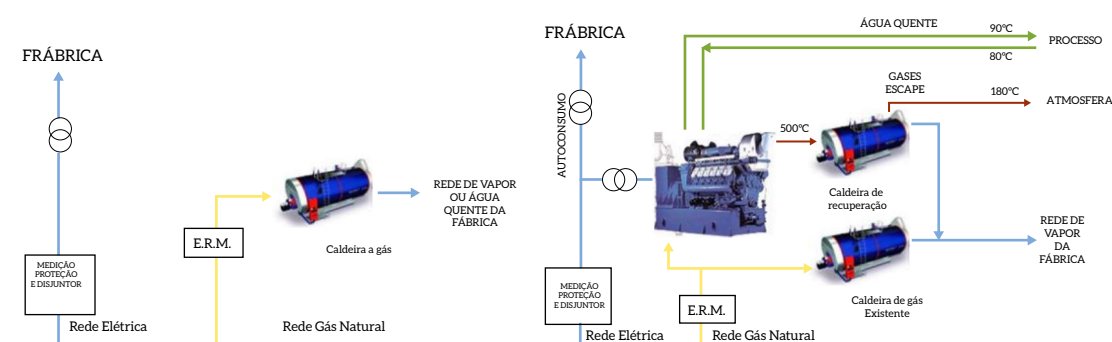


Figura 9 – Fluxograma de Processo sem e com Unidade de Cogeração

Fonte: LONJAS BRASIL, 2014

Na cogeração, geralmente, são produzidas energia elétrica (por meio de energia mecânica) e energia térmica na forma de vapor ou água quente. A cogeração pode ser obtida por meio de ciclos simples de vapor, em ciclos com turbinas a gás ou em ciclos com motores térmicos. Instalando-se unidades a gás operando em ciclos combinados com extração parcial do vapor para as necessidades industriais, aumenta-se a eficiência energética e adquire-se independência em relação à rede elétrica.

Merece destaque a utilização de sistemas de absorção para substituir os atuais sistemas de condicionamento de ar existentes e consumidores de energia elétrica. Esses sistemas podem funcionar com qualquer fonte de calor excedente do processo, seja do próprio projeto de cogeração ou de outros citados nos itens anteriores. Para plantas industriais, o recomendado é o equipamento *chiller* de adsorção, que é uma instalação térmica que converte calor em frio utilizando como fonte calor inutilizado. Os *chillers* de adsorção utilizam apenas água como refrigerante e um gel de sílica como adsorvente. Também se utiliza carvão ativo ou resina sintética como adsorvente nos processos industriais para purificar a água ou para secar (com a adsorção da água). Os *chillers* de adsorção com gel de sílica podem funcionar com temperaturas inferiores a 80°C, o que os torna mais interessantes do que os *chillers* de absorção em aplicações em que a fonte de calor é de baixa temperatura, como integrados com sistemas solares térmicos.

### 2.1.9 ELIMINAÇÃO DE VAZAMENTOS NAS TUBULAÇÕES

Para determinar a existência de vazamentos nas tubulações, a tecnologia de maior eficácia é a utilização do sistema de detecção acústica de vazamentos. Essa tecnologia de detecção de vazamentos consiste, basicamente, em um dispositivo acústico que capta o som produzido no interior da tubulação e o transmite à base de operações através de um cabo condutor. O vazamento é detectado pela variação tanto do áudio quanto da reprodução visual do sinal, e então se procede à sua exata localização pelo posicionamento do sensor no ponto de maior intensidade sonora. Com o dispositivo localizador superficial, marca-se o local para reparo da tubulação.

### 2.1.10 AUTOMAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Como evolução natural do uso de tecnologias e novos conhecimentos para melhorar os métodos de trabalho, surge a automação industrial combinada a *softwares* computacionais para atender o ritmo de produção que é exigido hoje. Daí o uso de máquinas e programas para não apenas agilizar esse processo, mas também fazê-lo com mais precisão e segurança. A seguir, serão descritos métodos de automação de equipamentos elétricos aplicáveis ao setor têxtil.

#### 2.1.10.1 ADVANCED PLANNING AND SCHEDULING SYSTEMS – APS

As soluções de programação de produção baseadas em sistemas APS fazem o sequenciamento com capacidade finita e geram programas de produção realistas e altamente confiáveis, porque respeitam: a disponibilidade efetiva de recursos produtivos, a existência de restrições operacionais, as condições de demanda e as políticas de atendimento da empresa.

Ao programar a ordem das operações produtivas, os sistemas APS consideram, simultaneamente, os turnos de trabalho e a eficiência de máquinas e operadores; a necessidade de ferramentas; os tempos de **setup** além de prioridades e datas de entrega prometidas. Tipicamente, a aplicação de sistemas APS permite aumento de 15% na produtividade, redução de 40% dos estoques e 50% dos materiais em processo, bem como melhoria de 60% no desempenho de entrega de produtos.

#### 2.1.10.2 MANUFACTURING EXECUTION SYSTEMS – MES

MES é o termo usado para designar os sistemas focados no gerenciamento das atividades de produção e que estabelecem ligação direta entre o planejamento e o “chão de fábrica”. O PC-Factory MES, sistema MES da PPI-multitask, gera informações precisas e em tempo real que promovem a otimização de todas as etapas da produção, desde a emissão de uma ordem até o embarque dos produtos acabados.

#### 2.1.10.3 AUTOMAÇÃO DE MÁQUINAS

A introdução de máquinas automatizadas contribuiu muito para a melhoria dos processos de produção. A automação do setor têxtil está baseada em microprocessadores locais e computadores gerenciais centrais. Dependendo do tipo de microprocessador e nível de automação, os processos podem ser completamente controlados e gerenciados. Verificaram-se as seguintes melhorias:

- i) Racionalização dos processos via economia de insumos (vapor d'água, água industrial, energia elétrica e outros);
- ii) Padronização dos processos e consequentemente diminuição dos erros operacionais causados por sistemas de controle manuais;
- iii) Aumento da velocidade de processo, consequentemente aumento da produção.

Dentre os produtos utilizados, estão *softwares* supervisórios (SCADA), interface homem-máquina (IHM), controladores lógicos programáveis (CLP), servo-acionamentos e inversores, sensores, entre outros.

As arquiteturas de automação atendem a vários tipos de máquinas e economizam até 50% do tempo gasto na elaboração de projeto dos sistemas de controle e instalação.

### 2.1.11 TROCA DE MOTORES STANDARD PELA LINHA DE ALTO RENDIMENTO COM INVERSORES

Uma das ações aplicáveis com vistas a promover a efficientização energética trata do desenvolvimento de um programa aplicado à força motriz da indústria, incluindo troca de motores queimados por outros de alto rendimento e substituição por motores de menor potência e melhor rendimento (repotencialização). Em ambos os casos, são aplicados inversores de frequência para controle da velocidade dos equipamentos.

Quando um motor original de alguma máquina queimar, a decisão de buscar uma alternativa mais eficiente deverá ser o caminho natural, pois consertá-lo custaria 115% do valor de um motor novo e mais eficiente.

Assim, a opção considera a instalação de motores associados a inversores de frequência que permitam variação de sua rotação, redução dos custos de manutenção (praticamente zero) e de horas de máquina parada e variação de velocidade do motor com torque constante (que se traduz em economia de energia) e mais potência na operação. Esses motores garantem maior versatilidade no controle de velocidade, o que é primordial para a qualidade da engomagem, processo que é anterior à produção do tecido no segmento de tecelagem.

A instalação é simples, já que o novo equipamento é cerca de duas vezes menor e cinco vezes mais leve que o original, o que demandará menor espaço da planta industrial, facilitando eventuais manutenções.

### 2.1.12 APLICAÇÃO DE LED NOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

O setor de iluminação com lâmpadas do tipo LED ganha cada vez mais espaço no mercado brasileiro. Atualmente, o segmento comercial é o que mais se interessa pela economia gerada por essa tecnologia, porém algumas indústrias já vêm investindo nessa tecnologia.

O produto comumente é importado, embora existam empresas em São Paulo e em Minas Gerais que desenvolvem produtos de LED para iluminação. São lâmpadas, fitas e luminárias de vários modelos usadas no comércio, indústria e setor público.

Quanto à economia, mesmo com potência cerca de dez vezes menor, a lâmpada de LED tem intensidade de luz muito semelhante à da lâmpada comum, com a vantagem de que não esquenta. Em uma lâmpada incandescente, a temperatura do vidro chega a 200°C. Por sua vez, na lâmpada de LED, a temperatura varia entre 40°C e 45°C.

Ao se comparar com lâmpadas de descarga atualmente utilizadas em galpões industriais, o gasto de energia pode ser reduzido em 66%. Além disso, a lâmpada é cerca de dez vezes mais durável.

### 2.1.13 EFICIENTIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO

Em meados de 2014, foi disponibilizado comercialmente o *chiller* centrífugo inverter (CCI) de alta eficiência. Seu grande benefício é o inversor de frequência, que permite o motor-compressor variar sua velocidade, obtendo maior eficiência em cargas parciais. O inversor de frequência proporciona partida mais suave, com baixa corrente. O equipamento apresenta *design* compacto, capacidade de 300 a 1.000 TR e compressor de alta eficiência de duplo estágio, além de tecnologias que possibilitam maior economia de energia.

Para garantir a operação segura do motor e a extensão do controle de velocidade, foram implementadas melhorias no sistema de fornecimento de óleo de lubrificação de modo que seja mantida a temperatura apropriada do óleo, reduzindo-se o consumo de energia. O novo equipamento apresenta os modelos *standard* e de alta eficiência.

## 2.2 PARÂMETROS TÉCNICO-ECONÔMICOS DAS MTD

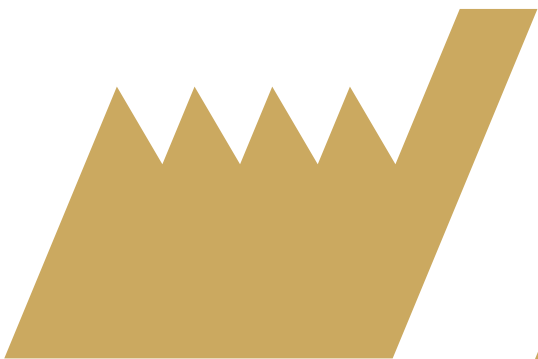
Nessa seção, são sintetizados, na Tabela 10, dois parâmetros técnico-econômicos das MTD anteriormente descritas, quais sejam: economia média anual de energia, tendo em vista a configuração produtiva de base no setor em 2013, e tempo de retorno (viabilidade econômica). Cumpre enfatizar que se trata de parâmetros por unitários, ou seja, por tecnologia.

Percebe-se que a medida de maior impacto em redução no consumo de energia é a aplicação de ajustes nas caldeiras para utilização do GN em substituição a outros combustíveis. Em seguida, se encontram a recuperação de calor dos efluentes líquidos e a cogeração.

Tabela 10 – Parâmetros Técnico-Econômicos das MTD

| MTD                                                  | Economia de energia |       |      | Tempo de retorno em anos |
|------------------------------------------------------|---------------------|-------|------|--------------------------|
|                                                      | GJ                  | tep   | %    |                          |
| Aumento da eficiência de combustão em caldeiras      | 3.346               | 79,9  | 2,9  | 1,0                      |
| Recuperação de condensado                            | 4.035               | 96,4  | 3,8  | 1,3                      |
| Uso de vapor reevaporado                             | 1.543               | 36,9  | 0,9  | 2,5                      |
| Recuperação de calor de efluentes líquidos           | 6.520               | 155,7 | 5,6  | 1,6                      |
| Recuperação de calor de ar e gases de exaustão       | 3.290               | 78,6  | 2,6  | 1,6                      |
| Isolamento térmico de tubulações e equipamentos      | 1.731               | 41,3  | 1,8  | 2,0                      |
| Substituição de combustível nas caldeiras            | 37.898              | 905,0 | 22,8 | 2,9                      |
| Eliminação de vazamentos nas tubulações              | 2.335               | 55,8  | 0,8  | 1,0                      |
| Automação de equipamentos elétricos                  | 2.448               | 58,5  | 40,0 | 2,4                      |
| Troca de motores <i>standard</i> por alto rendimento | 1.714               | 40,9  | 28,0 | 1,5                      |
| Aplicação de LED nos sistemas de iluminação          | 306                 | 7,3   | 5,0  | 6,0                      |
| Eficientização dos sistemas de ar condicionado       | 1.530               | 36,6  | 25,0 | 3,9                      |
| Cogeração                                            | 5.998               | 143,2 | 98,0 | 4,4                      |

Fonte: Elaboração própria



Cenário de  
referência

Capítulo

**3**

### 3 CENÁRIO DE REFERÊNCIA

Este capítulo apresenta o cenário referência (REF), com foco no consumo de energia e nas emissões de GEE do setor têxtil. Objetiva-se projetar, para o período de 2011 a 2050, a evolução do consumo de energia e emissões de GEE. Ou seja, trata-se de definir a referência sob a qual serão avaliados, nos cenários BC e BC+I, os impactos das opções setoriais de mitigação de emissões.

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.

A seguir, serão descritos premissas e procedimentos metodológicos aplicados na construção do cenário. Por fim, serão apresentados os resultados em termos de consumo de energia e emissões de GEE.

#### 3.1 PREMISSAS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Após o levantamento de todos os dados necessários para a construção do cenário REF para o setor, inicialmente, foram consideradas premissas relativas aos parâmetros técnico-econômicos aplicados para realizar as projeções de consumo de energia e emissões de GEE. As principais tecnologias aplicadas nos processos produtivos do setor foram divididas em caldeiras, cogeração e equipamentos consumidores de energia elétrica. Em seguida, serão descritos os pressupostos relativos à penetração das tecnologias consideradas para o setor têxtil. E, por fim, os fatores de emissão considerados neste estudo.

O processo de produção têxtil foi subdividido nos segmentos de fiação, tecelagem, beneficiamento e confecção. Os consumos de combustíveis se dão basicamente no processo de beneficiamento, em que estão os processos térmicos, e utilizam-se as caldeiras. Nos demais segmentos, o principal energético é a eletricidade, utilizado na maioria das máquinas de fiação, tecelagem e confecção. Algumas empresas de grande porte integram os segmentos em uma mesma planta, que geralmente tem unidades de cogeração.

As eficiências consideradas para cada tipo de caldeira, de acordo com os combustíveis consumidos, constam da Tabela 11. O primeiro valor apresentado trata da eficiência no ano-base considerado para as projeções, qual seja, 2010, e o segundo valor considera a eficiência das caldeiras em 2050. Portanto, os valores intermediários representam a evolução da eficiência de 2010 a 2050.



Tabela 11 – Eficiências das Caldeiras por Combustíveis em 2010 e 2050

| Eficiência das Caldeiras por Combustível | Eficiência Caldeira (%) |      |
|------------------------------------------|-------------------------|------|
|                                          | 2010                    | 2050 |
| GLP                                      | 80                      | 88   |
| Óleo combustível                         | 75                      | 78   |
| Gás natural                              | 80                      | 90   |
| Lenha                                    | 65                      | 69   |

Fonte: Elaborado a partir de INT, 1987

As eficiências da cogeração e de equipamentos consumidores de eletricidade foram obtidas junto aos fabricantes por meio de contato telefônico (Tabela 12 e Tabela 13).

Tabela 12 – Eficiências da Cogeração em 2010 e 2050

| Ciclos    | Eficiência Cogeração (%) |      |
|-----------|--------------------------|------|
|           | 2010                     | 2050 |
| Brayton   | 21                       | 23   |
| Rankine   | 14                       | 16   |
| Combinado | 25                       | 29   |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 13 – Eficiências de Equipamentos Consumidores de Eletricidade por Uso Final em 2010 e 2050

| Uso Final             | Eficiência Caldeira (%) |      |
|-----------------------|-------------------------|------|
|                       | 2010                    | 2050 |
| Força motriz          | 85                      | 88   |
| Condicionamento de ar | 85                      | 92   |
| Iluminação            | 75                      | 88   |

Fonte: Elaboração própria

A projeção de crescimento do setor têxtil baseou-se em cenários macrossetoriais produzidos por Haddad (2015) que subsidiam a construção de todos os cenários setoriais do projeto. As taxas de crescimento consideradas para o setor têxtil encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14 – Taxas de Crescimento Médio Anual do PIB por Período de 2010 a 2050

| Período   | Crescimento Médio Anual (%) |
|-----------|-----------------------------|
| 2010-2015 | 1,22                        |
| 2016-2020 | 1,34                        |
| 2021-2025 | 1,97                        |
| 2026-2030 | 1,59                        |
| 2031-2035 | 1,27                        |
| 2036-2040 | 1,02                        |
| 2041-2045 | 0,81                        |
| 2046-2050 | 0,63                        |

Fonte: HADDAD, 2015

No âmbito da modelagem integrada dos cenários de emissões de GEE, que terão seus resultados reportados no documento *Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono*, é considerada uma visão alternativa de crescimento do PIB. Esse cenário incorpora efeitos recentes da crise econômica nos agregados macroeconômicos, que certamente afetarão negativamente o crescimento setorial, reduzindo o consumo de energia e as emissões de GEE, apresentados na próxima seção.

Em seguida, fez-se necessário projetar a penetração das tecnologias consideradas para o setor têxtil no cenário REF. Para a definição das penetrações, multiplicou-se o consumo de energia de cada tecnologia, em cada ano, por sua eficiência, e analisou-se a quantidade de energia que cada uma produzia em relação ao total de energia produzido (Equação 1).

$$\text{Equação 1: Penetração}_{i,j}(\%) = \frac{\text{Consumo de energia}_i * \text{Eficiência}_i}{\text{Produção Total}_j} * 100$$

Onde:

Penetração (%) representa a entrada de cada tecnologia “j” no ano “i”; consumo de energia é a demanda energética por tecnologia no ano “i”; eficiência representa as faixas de eficiência por tecnologia “j” no ano “i”, conforme dados das tabelas 11, 12 e 13; produção é quantidade de energia total produzida por tecnologia; “i” é igual ao ano; e “j” é a tecnologia.

Para a definição das penetrações mínimas e máxima, definiu-se que os valores de penetração apresentados serviriam de máximo para os combustíveis renováveis e de mínimo para os combustíveis fósseis. Logo, para os combustíveis fósseis, o máximo foi definido pela adição de 5% em todos os anos. A mesma lógica foi mantida para a definição dos valores de penetrações mínimas dos combustíveis renováveis.

Tabela 15 – Penetrações Máximas e Mínimas

|        | Penetração por Tecnologias/Ciclos/ Usos Finais              | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   | 2035   | 2040   | 2045   | 2050   |
|--------|-------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        |                                                             |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Máxima | Caldeiras a lenha                                           | 7,12%  | 6,63%  | 6,13%  | 5,62%  | 5,11%  | 4,62%  | 4,14%  | 3,69%  |
|        | Caldeiras a óleo combustível                                | 4,96%  | 4,61%  | 4,26%  | 3,91%  | 3,56%  | 3,21%  | 2,88%  | 2,56%  |
|        | Caldeiras a gás natural                                     | 29,67% | 34,71% | 40,03% | 45,50% | 51,01% | 56,42% | 61,60% | 66,45% |
|        | Caldeiras a GLP                                             | 0,76%  | 0,69%  | 0,63%  | 0,56%  | 0,50%  | 0,44%  | 0,39%  | 0,34%  |
|        | Cogeração a gás natural com motores ou turbinas – Brayton   | 0,57%  | 0,59%  | 0,61%  | 0,61%  | 0,61%  | 0,60%  | 0,58%  | 0,56%  |
|        | Cogeração a gás natural com motores ou turbinas – Rankine   | 1,27%  | 1,14%  | 1,01%  | 0,89%  | 0,77%  | 0,67%  | 0,58%  | 0,49%  |
|        | Cogeração a gás natural com motores ou turbinas – Combinado | 0,27%  | 0,34%  | 0,42%  | 0,50%  | 0,60%  | 0,71%  | 0,82%  | 0,94%  |
|        | Força motriz                                                | 33,03% | 31,39% | 29,41% | 27,17% | 24,75% | 22,24% | 19,73% | 17,29% |
|        | Condicionamento de ar                                       | 23,49% | 23,18% | 22,72% | 22,10% | 21,34% | 20,44% | 19,44% | 18,34% |
|        | Iluminação                                                  | 1,07%  | 0,97%  | 0,87%  | 0,77%  | 0,68%  | 0,60%  | 0,52%  | 0,45%  |
| Mínima | Penetração das Tecnologias                                  | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   | 2035   | 2040   | 2045   | 2050   |
|        | Caldeiras a lenha                                           | 6,20%  | 4,99%  | 3,95%  | 3,09%  | 2,38%  | 1,81%  | 1,36%  | 1,01%  |
|        | Caldeiras a óleo combustível                                | 4,71%  | 4,13%  | 3,57%  | 3,04%  | 2,56%  | 2,12%  | 1,74%  | 1,41%  |
|        | Caldeiras a GN                                              | 28,41% | 32,05% | 35,89% | 39,91% | 44,03% | 48,21% | 52,38% | 56,50% |
|        | Caldeiras a GLP                                             | 0,64%  | 0,49%  | 0,37%  | 0,28%  | 0,21%  | 0,15%  | 0,11%  | 0,08%  |
|        | Cogeração a GN com motores ou turbinas – Brayton            | 0,56%  | 0,56%  | 0,57%  | 0,57%  | 0,57%  | 0,56%  | 0,54%  | 0,53%  |
|        | Cogeração a GN com motores ou turbinas – Rankine            | 1,15%  | 0,93%  | 0,74%  | 0,57%  | 0,44%  | 0,34%  | 0,25%  | 0,19%  |
|        | Cogeração a GN com motores ou turbinas – Combinado          | 0,25%  | 0,28%  | 0,31%  | 0,35%  | 0,38%  | 0,42%  | 0,46%  | 0,49%  |
|        | Força motriz                                                | 32,11% | 29,89% | 27,61% | 25,33% | 23,05% | 20,83% | 18,67% | 16,61% |
|        | Condicionamento de ar                                       | 22,78% | 21,65% | 20,29% | 18,74% | 17,07% | 15,34% | 13,61% | 11,93% |
|        | Iluminação                                                  | 0,96%  | 0,78%  | 0,61%  | 0,48%  | 0,37%  | 0,28%  | 0,21%  | 0,16%  |

Fonte: Elaboração própria

O consumo de energia por tecnologia, em cada ano, foi calculado pela definição de um percentual de consumo de cada combustível para tecnologias, ciclos e usos finais em relação ao total consumido desse mesmo combustível pelo setor têxtil. A Tabela 16 apresenta a participação de cada combustível no consumo, por tecnologia, ciclo e usos finais.

Tabela 16 – Consumo de Combustíveis e Eletricidade das Tecnologias, Usos Finais e Ciclos no Setor

| Tecnologias/Ciclos/Uso Final                     | Combustível      | Consumo (%) |
|--------------------------------------------------|------------------|-------------|
| Caldeiras a lenha                                | Lenha            | 3%          |
| Caldeiras a GN                                   | GN               | 46%         |
| Cogeração a GN com motores ou turbinas Rankine   | GN               | 6%          |
| Cogeração a GN com motores ou turbinas Brayton   | GN               | 4%          |
| Cogeração a GN com Motores ou turbinas Combinado | GN               | 2%          |
| Caldeiras a óleo combustível                     | Óleo combustível | 2%          |
| Caldeiras a GLP                                  | GLP              | 1%          |
| Força motriz                                     | Eletricidade     | 20%         |
| Condicionamento de ar                            | Eletricidade     | 15%         |
| Iluminação                                       | Eletricidade     | 1%          |

Fonte: Elaboração própria

Para o cenário REF, foi utilizado um consumo específico de aproximadamente 15 GJ/tonelada, o qual se encontra na faixa apresentada por Henriques Jr. (2010) para processos térmicos, qual seja, de 13,9 GJ/t a 16,5 GJ/t. Mais que isso, foram considerados para os diferentes segmentos que seguem os valores reportados na Tabela 9.

A projeção das emissões de CO<sub>2</sub> no cenário REF se baseou na evolução da demanda energética para o mesmo cenário. Foram considerados os fatores de emissão *default* do IPCC constantes na Tabela 17, que também foram utilizados na Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTI, 2016). 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 17 – Fatores de Emissão de CO<sub>2</sub>

| Fontes           | Fatores de emissão (tCO <sub>2</sub> /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). Para o período de 2017 a 2050, os valores são oriundos da modelagem integrada dos cenários de emissões do projeto. Esses fatores de emissão serão apresentados em valores médios por períodos, entre 2017 e 2050 (MCTIC, 2017).

## 3.2 PROJEÇÕES DE PRODUÇÃO, CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE GEE

Inicialmente, fez-necessário projetar, a partir das taxas de crescimento constantes da Tabela 14, a produção dos diferentes segmentos finais do setor têxtil, subdivididos em vestuário, meias e acessórios, linha lar, e artigos técnicos.

A partir da projeção de produção, que indica crescimento de 59% no período, é possível projetar a demanda de energia do setor. Ainda, tendo como base o percentual de participação dos combustíveis no consumo total de energia do setor (Tabela 16), projetou-se o percentual de participação de cada combustível utilizado, até o ano de 2050, desconsiderando um *breakthrough* tecnológico.

Tabela 18 – Produção Quinquenal por Segmentos do Setor Têxtil (2010-2050)

| Segmento                      | Produção (toneladas) |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                               | 2010                 | 2015              | 2020              | 2025              | 2030              | 2035              | 2040              | 2045              | 2050              |
| Tecidos planos                | 2.147.194            | 2.226.498         | 2.379.259         | 2.623.491         | 2.838.268         | 3.023.408         | 3.180.699         | 3.312.294         | 3.418.084         |
| Malhas                        | 3.480.463            | 3.609.009         | 3.856.626         | 4.252.510         | 4.600.649         | 4.900.749         | 5.155.709         | 5.369.015         | 5.540.494         |
| <b>Total Vestuário</b>        | <b>5.627.657</b>     | <b>5.835.507</b>  | <b>6.235.885</b>  | <b>6.876.001</b>  | <b>7.438.917</b>  | <b>7.924.157</b>  | <b>8.336.408</b>  | <b>8.681.309</b>  | <b>8.958.578</b>  |
| Tecidos planos                | 127.203              | 131.901           | 140.951           | 155.420           | 168.143           | 179.111           | 188.429           | 196.225           | 202.492           |
| Malhas                        | 681.879              | 707.063           | 755.575           | 833.135           | 901.342           | 960.136           | 1.010.087         | 1.051.877         | 1.085.472         |
| <b>Total Meias/Acessórios</b> | <b>809.082</b>       | <b>838.964</b>    | <b>896.526</b>    | <b>988.555</b>    | <b>1.069.485</b>  | <b>1.139.247</b>  | <b>1.198.516</b>  | <b>1.248.102</b>  | <b>1.287.965</b>  |
| Tecidos planos                | 928.869              | 963.175           | 1.029.260         | 1.134.914         | 1.227.825         | 1.307.916         | 1.375.960         | 1.432.887         | 1.478.652         |
| Malhas                        | 81.619               | 84.633            | 90.440            | 99.724            | 107.888           | 114.926           | 120.905           | 125.907           | 129.928           |
| <b>Total Linha Lar</b>        | <b>1.010.488</b>     | <b>1.047.809</b>  | <b>1.119.700</b>  | <b>1.234.637</b>  | <b>1.335.713</b>  | <b>1.422.842</b>  | <b>1.496.865</b>  | <b>1.558.794</b>  | <b>1.608.580</b>  |
| Tecidos planos                | 2.332.609            | 2.418.761         | 2.584.713         | 2.850.035         | 3.083.359         | 3.284.486         | 3.455.360         | 3.598.318         | 3.713.243         |
| Malhas                        | 56.608               | 58.699            | 62.726            | 69.165            | 74.827            | 79.708            | 83.855            | 87.324            | 90.113            |
| <b>Total Artigos Técnicos</b> | <b>2.389.217</b>     | <b>2.477.459</b>  | <b>2.647.440</b>  | <b>2.919.200</b>  | <b>3.158.186</b>  | <b>3.364.194</b>  | <b>3.539.215</b>  | <b>3.685.642</b>  | <b>3.803.357</b>  |
| <b>TOTAL GERAL</b>            | <b>9.836.444</b>     | <b>10.199.739</b> | <b>10.899.550</b> | <b>12.018.394</b> | <b>13.002.301</b> | <b>13.850.441</b> | <b>14.571.004</b> | <b>15.173.847</b> | <b>15.658.480</b> |

Fonte: Elaboração própria

Assim, pôde-se obter a projeção de consumo energético, conforme a Tabela 19 e a Figura 10. Deve-se destacar que a projeção foi realizada para o período 2015-2050, havendo calibração para o período 2010-2014 com informações de EPE (2017).

A demanda de energia do setor têxtil apresenta crescimento de 41% no período de 2010 a 2050, sendo que o gás natural ultrapassa a eletricidade, em 2030, como principal insumo energético. Observa-se queda no consumo de energia entre 2010 e 2020, derivada da crise macroeconômica atual.

Tabela 19 – Consumo de Energia por Fonte no Cenário REF

| Fontes de Energia | Consumo de energia (mil tep) |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-------------------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                   | 2010                         | 2015         | 2020         | 2025         | 2030         | 2035         | 2040         | 2045         | 2050         |
| Lenha             | 92                           | 61           | 59           | 57           | 55           | 54           | 53           | 52           | 52           |
| Gás natural       | 329                          | 402          | 472          | 586          | 687          | 775          | 850          | 913          | 964          |
| Diesel            | 3                            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            |
| Óleo combustível  | 64                           | 42           | 41           | 40           | 40           | 39           | 39           | 39           | 39           |
| GLP               | 10                           | 26           | 24           | 21           | 20           | 19           | 18           | 17           | 17           |
| Eleticidade       | 715                          | 585          | 596          | 611          | 621          | 629          | 635          | 639          | 643          |
| <b>TOTAL</b>      | <b>1.213</b>                 | <b>1.117</b> | <b>1.193</b> | <b>1.316</b> | <b>1.424</b> | <b>1.517</b> | <b>1.596</b> | <b>1.661</b> | <b>1.716</b> |

Fonte: Elaboração própria

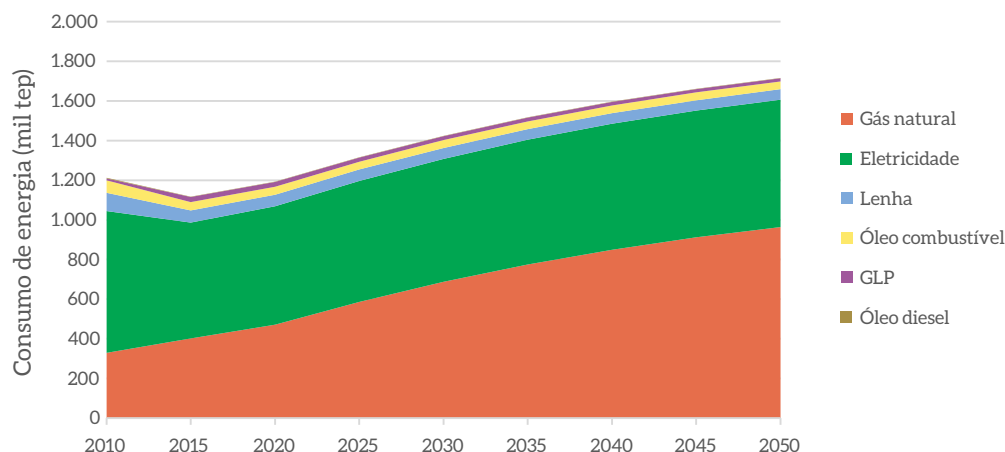


Figura 10 – Consumo de Energia por Fonte no Cenário REF

Fonte: Elaboração própria

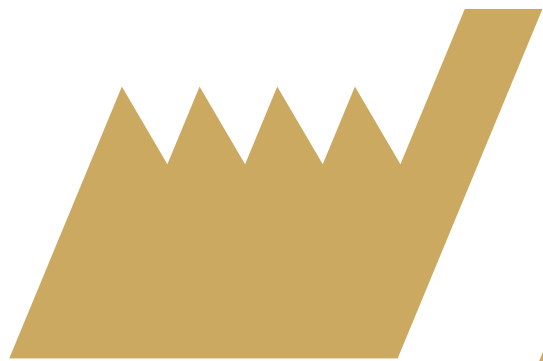
A partir da projeção da demanda de energia para o cenário REF, tornou-se possível o cálculo das emissões de GEE do setor têxtil. Pode-se destacar, inicialmente, a queda nas emissões até 2020, comparativamente a 2010. De fato, o setor apresenta, em 2020, praticamente o mesmo nível de emissões de 2010, fruto da queda tanto da atividade econômica quanto do fator de emissão do *grid* elétrico (MCTIC, 2017). Nesse caso, percebe-se o efeito sobre o fator de emissão oriundo do crescimento da geração eólica em detrimento da geração termoeletrica. Além disso, verifica-se maior crescimento nas emissões provenientes do gás natural, fruto da crescente importância dessa fonte de energia na matriz do setor até 2050.

As emissões totais, calculadas para cada quinquênio, são apresentadas na Tabela 20. Observa-se crescimento de 55% nas emissões entre 2010 e 2050.

Tabela 20 – Emissões por Fonte de Energia no Cenário REF

| Fontes de Energia | Emissões de GEE (milhares de tCO <sub>2</sub> e) |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-------------------|--------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                   | 2010                                             | 2015         | 2020         | 2025         | 2030         | 2035         | 2040         | 2045         | 2050         |
| Gás natural       | 727                                              | 746          | 882          | 1.076        | 1.282        | 1.494        | 1.710        | 1.924        | 2.133        |
| Óleo combustível  | 141                                              | 125          | 128          | 134          | 137          | 137          | 134          | 129          | 123          |
| GLP               | 22                                               | 19           | 19           | 19           | 19           | 18           | 17           | 16           | 15           |
| Eleticidade       | 1.581                                            | 1.419        | 1.438        | 1.565        | 1.626        | 1.653        | 1.650        | 1.620        | 1.566        |
| <b>TOTAL</b>      | <b>2.471</b>                                     | <b>2.309</b> | <b>2.466</b> | <b>2.794</b> | <b>3.064</b> | <b>3.303</b> | <b>3.511</b> | <b>3.689</b> | <b>3.837</b> |

Fonte: Elaboração própria



# Cenário de baixo carbono

Capítulo

**4**

## 4 CENÁRIO DE BAIXO CARBONO

Este capítulo apresenta o cenário BC, com foco no consumo de energia e nas emissões de GEE do setor têxtil. Objetiva-se, projetar, para o período 2011-2050, a evolução do consumo de energia e emissões de GEE. Ou seja, trata-se de avaliar, comparativamente ao cenário REF, o impacto decorrente da potencial implementação das opções setoriais de mitigação mapeadas no capítulo 2.

A seguir, serão descritos premissas e procedimentos metodológicos aplicados na construção do cenário. Em seguida, serão apresentados os resultados em termos de consumo de energia e emissões de GEE, e, por fim, serão mensurados os custos marginais de abatimento das atividades de baixo carbono aplicáveis no setor.

### 4.1 PREMISSAS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O cenário BC foi construído a partir da penetração de algumas MTD descritas no capítulo 2. Optou-se por selecionar somente tecnologias com baixo custo de capital e operação e manutenção (O&M), assim como disponíveis comercialmente. A partir desses critérios, é considerada no cenário a introdução das seguintes atividades de baixo carbono:

- Aumento da eficiência de combustão nas caldeiras;
- Substituição do combustível nas caldeiras (óleo combustível para gás natural);
- Substituição do combustível nas caldeiras (GLP para gás natural);
- Automação de equipamentos elétricos e aplicação de motores de alto rendimento;
- Eficientização dos sistemas de ar-condicionado por meio da instalação de CCI;
- Aplicação de LED nos sistemas de iluminação.

Para a construção do cenário BC, utilizou-se a mesma divisão do cenário REF, a qual separa o setor têxtil nos principais equipamentos consumidores de combustíveis e eletricidade:

- Caldeiras a gás natural;
- Caldeiras a óleo combustível;
- Caldeiras a GLP;
- Cogeração a gás natural com motores ou turbinas Rankine;



- Cogeração a gás natural com motores ou turbinas Brayton;
- Cogeração a GN com motores ou turbinas ciclo combinado;
- Força motriz;
- Condicionamento de ar;
- Iluminação.

A partir da introdução das MTD, fez-se necessário rever as eficiências consideradas para cada tipo de caldeira (Tabela 21). O primeiro valor apresentado trata da eficiência no ano-base considerado para as projeções (2010), e o segundo valor considera a eficiência das caldeiras em 2050. Portanto, os valores intermediários representam a evolução da eficiência de 2010 a 2050.

**Tabela 21 – Eficiências das Caldeiras por Combustíveis em 2010 e 2050**

| Eficiência das Caldeiras por Combustível | Eficiência Caldeira (%) |      |
|------------------------------------------|-------------------------|------|
|                                          | 2010                    | 2050 |
| GLP                                      | 80                      | 92   |
| Óleo combustível                         | 75                      | 83   |
| Gás natural                              | 80                      | 92   |
| Lenha                                    | 65                      | 69   |

Fonte: Elaborado pelo autor

Semelhantemente ao cenário REF, aplicou-se a Equação 1 para definir a penetração das tecnologias no setor têxtil, partindo da premissa de que os valores de penetração apresentados serviriam de máximo para os combustíveis renováveis e de mínimo para os combustíveis fósseis. Consta na Tabela 22 as penetrações mínimas e máximas resultantes da adoção de MTD no cenário BC.

Tabela 22 – Penetrações Máximas e Mínimas

|        | Penetração por Tecnologias/Ciclos/ Usos Finais              | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   | 2035   | 2040   | 2045   | 2050   |
|--------|-------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        |                                                             |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Máxima | Caldeiras a lenha                                           | 7,12%  | 6,63%  | 6,13%  | 5,62%  | 5,11%  | 4,62%  | 4,14%  | 3,69%  |
|        | Caldeiras a óleo combustível                                | 1,27%  | 1,14%  | 1,01%  | 0,89%  | 0,77%  | 0,67%  | 0,58%  | 0,49%  |
|        | Caldeiras a gás natural                                     | 29,67% | 34,71% | 40,03% | 45,50% | 51,01% | 56,42% | 61,60% | 66,45% |
|        | Caldeiras a GLP                                             | 0,57%  | 0,59%  | 0,61%  | 0,61%  | 0,61%  | 0,60%  | 0,58%  | 0,56%  |
|        | Cogeração a gás natural com motores ou turbinas – Brayton   | 0,27%  | 0,34%  | 0,42%  | 0,50%  | 0,60%  | 0,71%  | 0,82%  | 0,94%  |
|        | Cogeração a gás natural com motores ou turbinas – Rankine   | 4,96%  | 4,61%  | 4,26%  | 3,91%  | 3,56%  | 3,21%  | 2,88%  | 2,56%  |
|        | Cogeração a gás natural com motores ou turbinas – Combinado | 0,76%  | 0,69%  | 0,63%  | 0,56%  | 0,50%  | 0,44%  | 0,39%  | 0,34%  |
|        | Força motriz                                                | 33,03% | 31,39% | 29,41% | 27,17% | 24,75% | 22,24% | 19,73% | 17,29% |
|        | Condicionamento de ar                                       | 23,49% | 23,18% | 22,72% | 22,10% | 21,34% | 20,44% | 19,44% | 18,34% |
|        | Iluminação                                                  | 1,07%  | 0,97%  | 0,87%  | 0,77%  | 0,68%  | 0,60%  | 0,52%  | 0,45%  |
| Mínima | Penetração das Tecnologias                                  | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   | 2035   | 2040   | 2045   | 2050   |
|        | Caldeiras a lenha                                           | 6,20%  | 4,99%  | 3,95%  | 3,09%  | 2,38%  | 1,81%  | 1,36%  | 1,01%  |
|        | Caldeiras a óleo combustível                                | 1,15%  | 0,93%  | 0,74%  | 0,57%  | 0,44%  | 0,34%  | 0,25%  | 0,19%  |
|        | Caldeiras a GN                                              | 28,41% | 32,05% | 35,89% | 39,91% | 44,03% | 48,21% | 52,38% | 56,50% |
|        | Caldeiras a GLP                                             | 0,56%  | 0,56%  | 0,57%  | 0,57%  | 0,57%  | 0,56%  | 0,54%  | 0,53%  |
|        | Cogeração a GN com motores ou turbinas – Brayton            | 0,25%  | 0,28%  | 0,31%  | 0,35%  | 0,38%  | 0,42%  | 0,46%  | 0,49%  |
|        | Cogeração a GN com motores ou turbinas – Rankine            | 4,71%  | 4,13%  | 3,57%  | 3,04%  | 2,56%  | 2,12%  | 1,74%  | 1,41%  |
|        | Cogeração a GN com motores ou turbinas – Combinado          | 0,64%  | 0,49%  | 0,37%  | 0,28%  | 0,21%  | 0,15%  | 0,11%  | 0,08%  |
|        | Força motriz                                                | 32,11% | 29,89% | 27,61% | 25,33% | 23,05% | 20,83% | 18,67% | 16,61% |
|        | Condicionamento de ar                                       | 22,78% | 21,65% | 20,29% | 18,74% | 17,07% | 15,34% | 13,61% | 11,93% |
|        | Iluminação                                                  | 0,96%  | 0,78%  | 0,61%  | 0,48%  | 0,37%  | 0,28%  | 0,21%  | 0,16%  |

Fonte: Elaboração própria

O consumo de energia por tecnologia, em cada ano, foi calculado pela definição de um percentual de consumo de cada combustível para as tecnologias em relação ao total consumido desse mesmo combustível pelo setor têxtil. A Tabela 23 apresenta a participação de cada combustível e eletricidade no consumo, segundo tecnologias, usos finais e ciclos no setor.

**Tabela 23 – Consumo de Combustíveis e Eletricidade das Tecnologias, Usos Finais e Ciclos no Setor**

| Tecnologias/Ciclos/Usos Finais                   | Combustível      | Consumo (%) |
|--------------------------------------------------|------------------|-------------|
| Caldeiras a lenha                                | Lenha            | 6%          |
| Caldeiras a GN                                   | GN               | 36%         |
| Cogeração a GN com motores ou turbinas Rankine   | GN               | 3%          |
| Cogeração a GN com motores ou turbinas Brayton   | GN               | 2%          |
| Cogeração a GN com motores ou turbinas Combinado | GN               | 3%          |
| Caldeiras a óleo combustível                     | Óleo combustível | 2%          |
| Caldeiras a GLP                                  | GLP              | -           |
| Força motriz                                     | Eletricidade     | 27%         |
| Condicionamento de ar                            | Eletricidade     | 20%         |
| Iluminação                                       | Eletricidade     | 1%          |

Fonte: Elaboração própria

Por fim, deve-se ressaltar que foram utilizadas as taxas de crescimento do PIB que constam da Tabela 14 (HADDAD, 2015). Mais que isso, foram aplicados os mesmos fatores de emissão do cenário REF (IPCC, 2006; MCTI, 2015; 2016; MCTIC, 2017).

## 4.2 PROJEÇÕES DE CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE GEE

A implementação das atividades de baixo carbono no setor têxtil resulta em queda, com relação ao cenário REF, de cerca de 11% no consumo de energia entre 2020 e 2050 (Tabela 24 e Figura 11). Observa-se crescimento na participação da eletricidade na matriz energética do setor que atinge 48% em 2050, em face dos 37% no cenário REF no mesmo ano. Esse incremento deriva do aumento da participação do segmento de confecções, assim como da aplicação de automações de equipamentos elétricos no setor. Por outro lado, decresce a participação do gás natural, restando verificar na modelagem integrada do projeto, que será reportada em relatório próprio, se a oferta de eletricidade a partir dessa fonte encontra restrições de oferta, assim como efeitos em termos de emissões de GEE, considerando a expansão do parque de geração.

Tabela 24 – Consumo de Energia por Fonte no Cenário BC

| Fontes de Energia | Consumo de energia (mil tep) |            |              |              |              |              |              |              |              |
|-------------------|------------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                   | 2010                         | 2015       | 2020         | 2025         | 2030         | 2035         | 2040         | 2045         | 2050         |
| Lenha             | 92                           | 61         | 59           | 57           | 55           | 54           | 53           | 52           | 52           |
| Gás natural       | 329                          | 236        | 279          | 340          | 405          | 472          | 540          | 608          | 674          |
| Diesel            | 3                            | 2          | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            |
| Óleo combustível  | 64                           | 13         | 28           | 34           | 38           | 42           | 44           | 46           | 46           |
| GLP               | 10                           | 22         | 16           | 20           | 24           | 26           | 28           | 28           | 28           |
| Eletricidade      | 715                          | 657        | 679          | 724          | 753          | 765          | 763          | 749          | 725          |
| <b>TOTAL</b>      | <b>1.213</b>                 | <b>992</b> | <b>1.062</b> | <b>1.176</b> | <b>1.276</b> | <b>1.360</b> | <b>1.429</b> | <b>1.484</b> | <b>1.526</b> |

Fonte: Elaboração própria

De fato, grande parte dos setores industriais encontra na eletricidade e no gás natural oportunidade de reduzir emissões perante energéticos com maior intensidade de carbono, como é o caso do óleo combustível e do GLP. Todavia, uma análise setorial não observa a disponibilidade de eletricidade e 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.

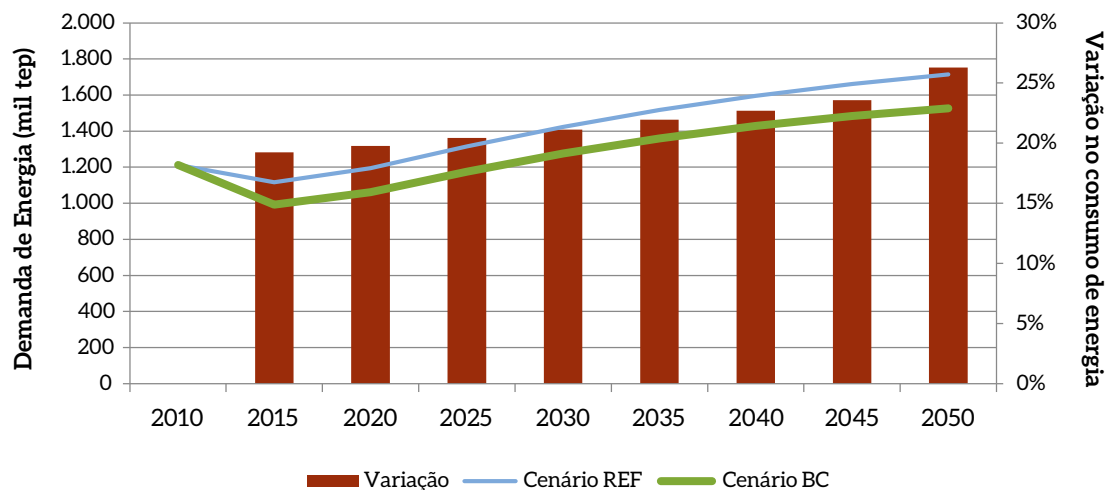


Figura 11 – Consumo de Energia e Variação entre os Cenários REF e BC

Fonte: Elaboração própria

O crescimento das emissões no período 2010-2050 é de 35% (Tabela 25). De fato, a introdução das MTD no setor resulta em redução, com relação ao cenário REF, de 13% em 2050 nas emissões (Figura 12). Trata-se de um potencial de mitigação relevante, todavia é preciso avaliar a viabilidade econômica da sua implementação, motivo pelo qual a próxima seção deste estudo dedica-se a mensurar o custo marginal de abatimento das atividades de baixo carbono.

Tabela 25 – Emissões por Fonte de Energia no Cenário BC

| Fontes de Energia | Emissões de GEE (milhares de tCO <sub>2</sub> e) |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-------------------|--------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                   | 2010                                             | 2015         | 2020         | 2025         | 2030         | 2035         | 2040         | 2045         | 2050         |
| Gás natural       | 727                                              | 629          | 744          | 909          | 1.083        | 1.262        | 1.444        | 1.625        | 1.801        |
| Eletricidade      | 1.581                                            | 1.283        | 1.328        | 1.416        | 1.473        | 1.497        | 1.494        | 1.467        | 1.419        |
| Demais fontes     | 163                                              | 119          | 121          | 127          | 128          | 128          | 125          | 119          | 113          |
| <b>TOTAL</b>      | <b>2.471</b>                                     | <b>2.031</b> | <b>2.193</b> | <b>2.452</b> | <b>2.684</b> | <b>2.887</b> | <b>3.063</b> | <b>3.211</b> | <b>3.333</b> |

Fonte: Elaboração própria

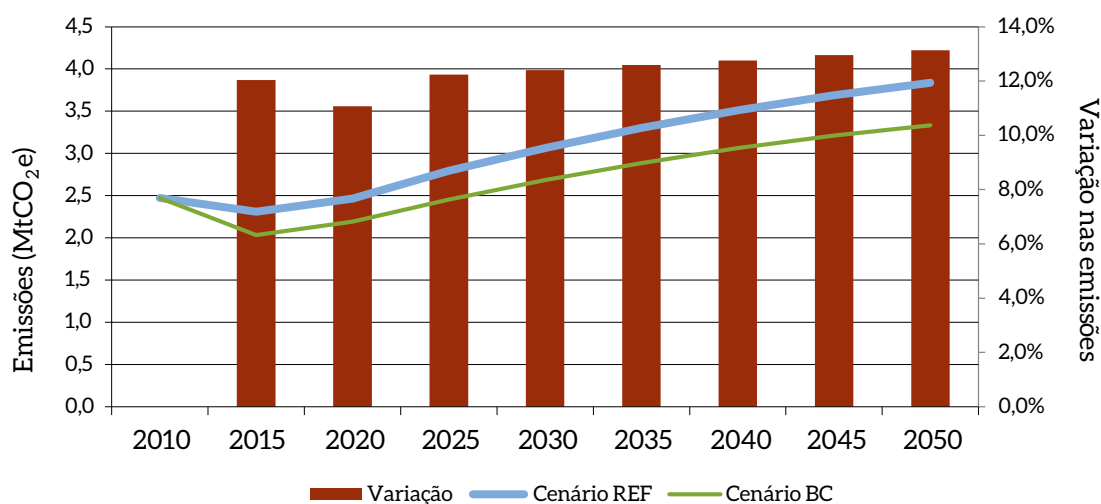


Figura 12 – Emissões Totais e Variação entre os Cenários REF e BC

Fonte: Elaboração própria

### 4.3 CUSTOS MARGINAIS DE ABATIMENTO DAS ATIVIDADES DE BAIXO CARBONO

Os custos marginais de abatimento (CMA) para o cenário BC servem para avaliar a viabilidade econômica da adoção do potencial técnico de abatimento medido até o momento.

Inicialmente, será descrita a metodologia de cálculo dos CMA. Em seguida, serão descritas as premissas, em particular, relativas à definição do custo de oportunidade do capital (taxa de desconto) do setor têxtil e demais parâmetros de modelagem. Por fim, serão apresentados os resultados, com destaque para a curva de CMA, que relaciona os potenciais e custos das opções de mitigação do cenário BC até 2050.

### 4.3.1 METODOLOGIA

O custo marginal de abatimento consiste na diferença entre o custo do cenário de referência e o custo do cenário de mitigação, ambos expressos por unidade de massa de CO<sub>2</sub> equivalente (US\$/tonelada CO<sub>2</sub>e) (HENRIQUES JR., 2010). Sendo assim, o custo do CO<sub>2</sub>e evitado consiste no gasto necessário para mitigar cada unidade de CO<sub>2</sub>e.

Quando o custo é negativo, entende-se que a mitigação incorre em benefícios líquidos, ou seja, que, além de possibilitar redução da emissão de CO<sub>2</sub>e, 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 pelo custo incremental com a implementação da medida em comparação com o cenário referencial e das emissões anuais evitadas, conforme a Equação 2 (DE GOUVELLO, 2010).

$$\text{Equação 2: } CMA^{\text{opção}} = \frac{CAL^{\text{baixo carbono}} - CAL^{\text{base}}}{EA^{\text{base}} - EA^{\text{baixo carbono}}}$$

Onde:

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

Por sua vez, 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, segundo a Equação 3 (DE GOUVELLO, 2010).

$$\text{Equação 3: } CAL = INV * r * \frac{\left[ (1+r)^t / (1+r)^t - 1 \right] + OM + COMB - REC}{(1+r)^{(n-2011)}}$$

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.

### 4.3.2 PRESSUPOSTOS E PARÂMETROS CONSIDERADOS PARA A OBTENÇÃO DOS CUSTOS MARGINAIS DE ABATIMENTO

Para mensurar os CMA 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 usadas 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, foram solicitados a empresas de porte do setor os seus laudos de avaliações econômico-financeiras relativos ao período de 2008 a 2015, visando calcular a taxa de juros utilizada nos fluxos de caixa de investimentos de empresas do setor têxtil. Os fluxos de caixa operacionais devem ser descontados por uma taxa de juros que reflita a remuneração exigida por todos os proprietários de capital (acionistas e credores), ponderada por suas respectivas participações sobre o capital total investido. Essa taxa de desconto é conhecida na literatura financeira por custo médio ponderado de capital (WACC, sigla em inglês), tendo a seguinte expressão básica de cálculo:

$$\text{Equação 4: WACC} = \left[ K_e \times \frac{P}{P + PL} \right] + \left[ K_i \times (1 - IR) \times \frac{PL}{P + PL} \right]$$

Onde:

$K_e$  representa a taxa de retorno requerida pelos acionistas em seus investimentos na empresa;  $K_i$  mensura o custo do empréstimo/financiamento, ajustado pelo benefício fiscal oferecido por essas operações; IR equivale à alíquota de imposto de renda; P e PL indicam, respectivamente, o montante dos passivos onerosos e do patrimônio líquido.

A primeira etapa desse método é o cálculo do WACC. Para isso, é necessário obter o custo de capital de terceiros e o custo do capital próprio, variáveis que viabilizam fazer a ponderação de acordo com a representatividade no capital total da empresa. Para testar a metodologia, inicialmente, procedeu-se ao cálculo do custo de capital de terceiros da empresa Hering, obtido na Economática®<sup>3</sup>. O custo de capital próprio foi obtido pelo método do CAPM (Capital Asset Price Model), conforme a Tabela 26.

**3** O sistema Economática é uma ferramenta utilizada para análise de ações e de fundos de investimento. Trata-se de um conjunto de avançados módulos de análise que operam sobre uma base de dados de grande abrangência e de alta confiabilidade.

Tabela 26 – Cálculo do Custo de Capital

| Variável            | Valor  | Descrição                                           |
|---------------------|--------|-----------------------------------------------------|
| Taxa livre de risco | 0,58%  | Poupança (média 60 meses)                           |
| Retorno mercado     | 12,09% | Taxa média de crescimento Ibovespa (média 60 meses) |
| Risco Brasil        | 1,04%  | Economática                                         |
| Beta                | 54,00% | Beta desalavancado do setor (média 60 meses)        |
| CAPM                | 7,83%  | $CAPM = R_f + \beta(R_m - R_f)$                     |
| Variável            | Valor  | Explicação                                          |
| Taxa livre de risco | 0,58%  | Poupança (média 60 meses)                           |
| Retorno mercado     | 12,09% | Taxa média de crescimento Ibovespa (média 60 meses) |
| Risco Brasil        | 1,04%  | Economática                                         |
| Beta                | 54,00% | Beta desalavancado do setor (média 60 meses)        |
| CAPM                | 7,83%  | $CAPM = R_f + \beta(R_m - R_f)$                     |

Fonte: Elaboração a partir de ALVES, 2013

De posse dos custos de capital de terceiros e próprio, a Tabela 27 detalha o WACC para o período analisado (2008 a 2013) e para cada ano em separado.

Tabela 27 – Cálculo do Custo Médio Ponderado de Capital

| Variável                      | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Custo de capital de terceiros | 119% | 27%  | 36%  | 63%  | 84%  | 90%  | 120% | 125% |
| CAPM                          | 8%   | 8%   | 8%   | 8%   | 8%   | 8%   | 8%   | 8%   |
| % capital de terceiros        | 21%  | 12%  | 6%   | 3%   | 2%   | 2%   | 1%   | 1%   |
| % capital próprio             | 35%  | 48%  | 59%  | 64%  | 66%  | 69%  | 72%  | 76%  |
| WACC                          | 49%  | 12%  | 10%  | 10%  | 10%  | 13%  | 15%  | 18%  |
| WACC Médio                    | 17%  |      |      |      |      |      |      |      |

Fonte: Elaboração própria

Diante desse teste da metodologia, procedeu-se com a avaliação dos laudos de avaliação econômico-financeira das demais grandes empresas do setor. No caso da empresa Vicunha, já é apresentada a taxa de desconto nominal utilizada pela empresa. Para calcular a taxa real, foi considerada a inflação de 12 meses calculada pela Fundação Getúlio Vargas, medida pelo Índice de Preços ao Consumidor (IPC), conforme a Tabela 28.



Tabela 28 – Cálculo da Taxa de Desconto Real Média para o Setor Têxtil

| Período   | Empresas Têxteis Estudadas               |                |             |                |             |                |             |                |             |
|-----------|------------------------------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
|           |                                          | Vicunha        |             | Coteminas      |             | Hering         |             | Teka           |             |
|           | IPC 12 Meses (%)                         | Taxa Nominal % | Taxa Real % | Taxa Nominal % | Taxa Real % | Taxa Nominal % | Taxa Real % | Taxa Nominal % | Taxa Real % |
| 2013-2017 | 8,6                                      | 20,1           | 18,4        | 20,4           | 18,7        | 18,5           | 17,0        | 20,2           | 18,5        |
|           | Taxa de desconto real média do setor (%) | 18,2           |             |                |             |                |             |                |             |

Fonte: Elaboração própria

Portanto, conclui-se que a taxa de desconto de mercado do setor têxtil é de 18% ao ano. Também será considerada, para fins de obtenção dos custos de abatimento, uma ótica social de taxa de desconto (DE GOUVELLO, 2010). Trata-se da taxa que replica o custo de oportunidade social do capital, frequentemente acessada pelo setor junto a bancos públicos de fomento, tal qual o BNDES. Nesse caso, conservadoramente, adotar-se-á taxa de desconto de 8% ao ano.

Em seguida, realizou-se avaliação do investimento aproximado necessário para que o setor têxtil implementasse as opções de mitigação listadas na seção 4.1. Em primeiro lugar, foi levantado o número de empresas de cada subsegmento do setor, por meio de dados fornecidos pelo Instituto de Estudos e Marketing Industrial (IEMI, 2014). Em paralelo, foram consideradas as atividades de baixo carbono aplicáveis a cada subsegmento do setor. Como resultado, obteve-se que cerca de 105 mil intervenções poderiam ser aplicadas no setor com vistas a aprimorar os processos produtivos, efetivando a transição do setor para o cenário BC (Tabela 29).

Mais que isso, a partir de dados extraídos de diversos relatórios de diagnósticos energéticos realizados em empresas do setor pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e confirmados em estudos da Eletrobras/Procel e CNI (CNI, 2010), foi possível obter percentuais médios de economia e valores de investimento para as melhorias tecnológicas que estão sendo avaliadas no cenário BC.

A partir das economias e dos investimentos relacionados a cada melhoria citada e tendo o número de empresas que podem aplicar cada tipo de melhoria, foi estruturada a Tabela 30, que resume os parâmetros básicos considerados no cálculo dos CMA do cenário BC.

**Tabela 29 – Empresas por Segmento Específico Passíveis de Introdução das MTD**

| Empresas por segmento/<br>Atividades de baixo carbono | Nº de Empresas que necessitam da melhoria |        |           |          |                |     |           |                |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------|-----------|----------|----------------|-----|-----------|----------------|
|                                                       | Fibras e Filamentos                       | Fiação | Tecelagem | Malharia | Beneficiamento | TNT | Confecção | Totais         |
| Nº de empresas por segmento                           | 23                                        | 433    | 557       | 740      | 1.227          | 88  | 30.080    | 33.148         |
| Aumento da eficiência de combustão nas caldeiras      | -                                         | -      | -         | -        | 1.227          | 88  | -         | 1.315          |
| Automação dos equipamentos elétricos                  | 23                                        | 433    | 557       | 740      | 1.227          | 88  | -         | 3.068          |
| Substituição de combustíveis nas caldeiras            | -                                         | -      | -         | -        | 1.227          | 88  | -         | 1.315          |
| Aplicação de motores de alto rendimento               | -                                         | -      | 557       | 740      | 1.227          | 88  | 30.080    | 32.692         |
| Aplicação de LED nos sistemas de iluminação           | 23                                        | 433    | 557       | 740      | 1.227          | 88  | 30.080    | 33.148         |
| Eficientização dos sistemas ar condicionado           | 23                                        | 433    | 557       | 740      | 1.227          | 88  | 30.080    | 33.148         |
| <b>Total</b>                                          |                                           |        |           |          |                |     |           | <b>104.686</b> |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IEMI, 2014

**Tabela 30 – Síntese dos Parâmetros Técnico-Econômicos das MTD Consideradas no Cenário BC**

| MTD                                              | Nº de empresas aplicáveis | Economia Anual |              |    |               |         | Investimento Total (US\$) | Investimento (US\$/kW) | Tempo de Retorno do Investimento (meses) |
|--------------------------------------------------|---------------------------|----------------|--------------|----|---------------|---------|---------------------------|------------------------|------------------------------------------|
|                                                  |                           | GJ             | tep          | %  | US\$          | US\$/kW |                           |                        |                                          |
| Aumento da eficiência de combustão nas caldeiras | 1.315                     | 4.399.218      | 105.068,50   | 6  | 9.677.217     | 6       | 2.419.304                 | 22                     | 3                                        |
| Automação dos equipamentos elétricos             | 3.068                     | 7.450.515      | 177.944,00   | 40 | 122.720.000   | 43      | 306.800.000               | 427                    | 30                                       |
| Substituição de combustíveis nas caldeiras       | 1.315                     | 1.187.702      | 28.366,43    | 23 | 76.796.000    | 168     | 83.195.667                | 220                    | 13                                       |
| Aplicação de motores de alto rendimento          | 32.692                    | 169.732.941    | 4.053.808,00 | 28 | 915.376.000   | 14      | 2.212.158.667             | 162                    | 29                                       |
| Aplicação de LED nos sistemas de iluminação      | 33.148                    | 73.559.058     | 1.756.844,00 | 5  | 1.988.880.000 | 70      | 1.657.400.000             | 1.322                  | 10                                       |
| Eficientização dos sistemas ar condicionado      | 33.148                    | 80.498.592     | 1.922.584,00 | 25 | 1.077.310.000 | 35      | 3.314.800.000             | 400                    | 37                                       |

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 31 e a Tabela 32 abrangem os preços de combustíveis considerados para o cálculo dos CMA no ano-base de 2010. Como os valores foram obtidos em reais, foi preciso convertê-los para dólares americano, para o quê foi aplicada a taxa de câmbio de R\$ 2,17/ US\$ (HADDAD, 2015).

**Tabela 31 – Preço dos Combustíveis**

| Combustíveis     | Preço  | Unidade       |
|------------------|--------|---------------|
| Gás natural      | 0,71   | US\$/m³       |
| Óleo combustível | 0,58   | US\$/litro    |
| GLP              | 2,15   | US\$/Kg       |
| Óleo diesel      | 1,16   | US\$/litro    |
| Lenha            | 29,95  | US\$/tonelada |
| Eletricidade     | 161,29 | US\$/MWh      |

Fonte: EPE, 2017

Quanto às projeções de tais valores até o ano de 2050, inicialmente, no que se refere aos combustíveis derivados de petróleo, foram construídas tendo como base, para a taxa de desconto social, a evolução de preços de petróleo do cenário Low Price Case (IEA, 2015). Para a taxa de desconto de mercado, o preço médio de US\$ 75/bbl foi mantido constante durante o horizonte de análise. Esse valor deriva do patamar considerado no âmbito da modelagem integrada dos cenários de baixo carbono do projeto, e trata-se de um preço de robustez do petróleo, que é conservador, para não subestimar os custos de abatimento das medidas.

**Tabela 32 – Cenários de Preços de Petróleo**

| Taxa de Desconto                 | Preço do Petróleo (US\$/barril) |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                  | 2010                            | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
| 18% ao ano<br>(ótica de mercado) | 75                              | 75   | 75   | 75   | 75   | 75   | 75   | 75   | 75   |
| 8% ao ano<br>(ótica social)      | 60                              | 55   | 75   | 90   | 105  | 120  | 135  | 140  | 145  |

Fonte: Elaboração própria

A projeção de preços dos combustíveis, visando ao cálculo de CMA com taxa de desconto social, é apresentada na Tabela 33. Como os preços do petróleo são variáveis considerando a ótica de taxa de desconto social, conforme exposto na Tabela 32, os preços de combustíveis resultantes não são constantes.

**Tabela 33 – Projeção de Preços dos Combustíveis para a Taxa de Desconto Social**

| Anos | Eletricidade<br>(US\$/MWh) | Gás Natural<br>(US\$/m³) | Óleo Combustível<br>(US\$/litro) | GLP<br>(US\$/kg) |
|------|----------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------|
| 2010 | 161,3                      | 0,71                     | 0,58                             | 2,15             |
| 2015 | 176,8                      | 0,78                     | 0,64                             | 2,36             |
| 2020 | 146,4                      | 0,64                     | 0,53                             | 1,95             |
| 2025 | 149,5                      | 0,66                     | 0,54                             | 1,99             |
| 2030 | 152,8                      | 0,67                     | 0,55                             | 2,04             |
| 2035 | 150                        | 0,66                     | 0,54                             | 2,00             |
| 2040 | 150,5                      | 0,66                     | 0,54                             | 2,01             |
| 2045 | 150                        | 0,66                     | 0,54                             | 2,00             |
| 2050 | 151,4                      | 0,67                     | 0,54                             | 2,02             |

Fonte: Elaboração própria

### 4.3.3 RESULTADOS

Com base nos dados citados, que foram aplicados às equações 2 e 3, puderam ser calculados os custos de abatimento para cada medida, bem como seus potenciais de abatimento até 2050, para as taxas de desconto de 8% ao ano e 18% ao ano. Pode-se verificar que todas as medidas, à exceção de aplicação de LED em sistemas de iluminação, a qual representa apenas 1% do potencial total de abatimento, têm custo de abatimento positivo, o que demonstra barreira econômica a sua adoção. Nesse sentido, o próximo capítulo se dedicará a propor instrumentos de política pública para remover esta e outras barreiras, viabilizando a adoção das MTD aplicáveis ao setor.

Tabela 34 – Potenciais e Custos Marginais com Taxas de Desconto de 8% e 18% ao ano

| Atividades de baixo carbono                                                   | Potencial acumulado de mitigação (tCO <sub>2</sub> e) | Custo Marginal de Abatimento (US\$/tCO <sub>2</sub> e) |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------|
|                                                                               |                                                       | 8% ao ano                                              | 18% ao ano |
| Aplicação de LED nos sistemas de iluminação                                   | 85.824                                                | -1,3                                                   | 26,6       |
| Aumento da eficiência de combustão nas caldeiras                              | 8.145.663                                             | 5,7                                                    | 13,2       |
| Substituição do combustível nas caldeiras (óleo combustível para gás natural) | 898.535                                               | 5,0                                                    | 11,1       |
| Automação de equipamentos elétricos e aplicação de motores de alto rendimento | 2.854.634                                             | 17,6                                                   | 39,1       |
| Substituição do combustível nas caldeiras (GLP para gás natural)              | 105.352                                               | 25,7                                                   | 59,0       |
| Eficientização dos sistemas de ar condicionado                                | 2.594.027                                             | 32,2                                                   | 72,3       |

Fonte: Elaboração própria

As curvas de CMA, para cada taxa de desconto considerada, são apresentadas na Figura 13 e na Figura 14. O potencial acumulado de abatimento de emissões foi estimado em cerca de 14,7 MtCO<sub>2</sub>. Entretanto, esse potencial de abatimento não representa o potencial líquido de redução de emissões do setor têxtil. 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.

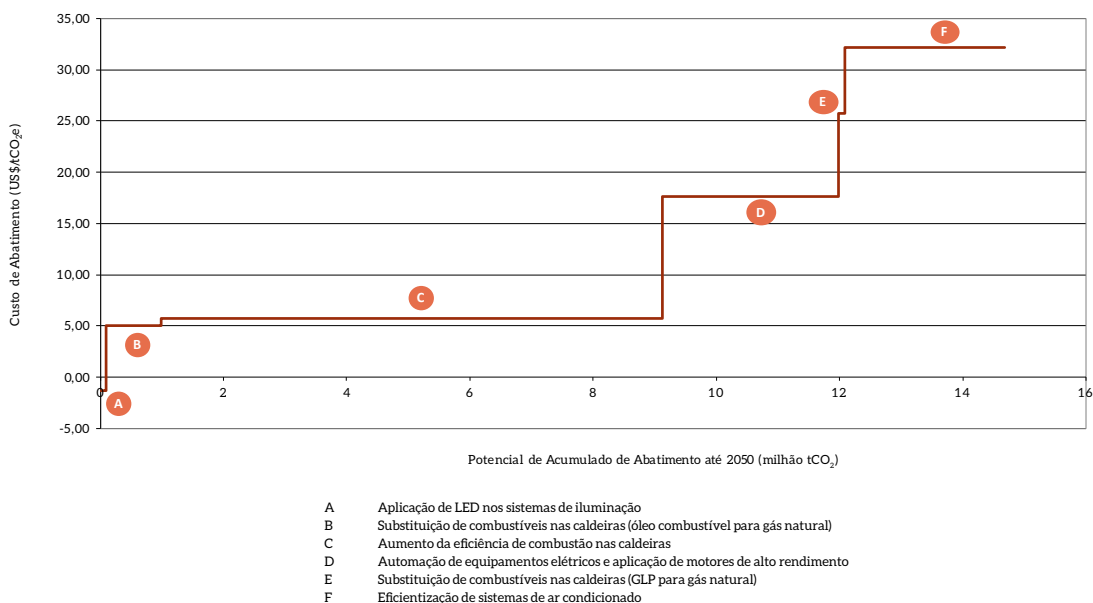


Figura 13 – Curva de Custos Marginais de Abatimento do Setor Têxtil para Taxa de Desconto de 8% ao ano

Fonte: Elaboração própria

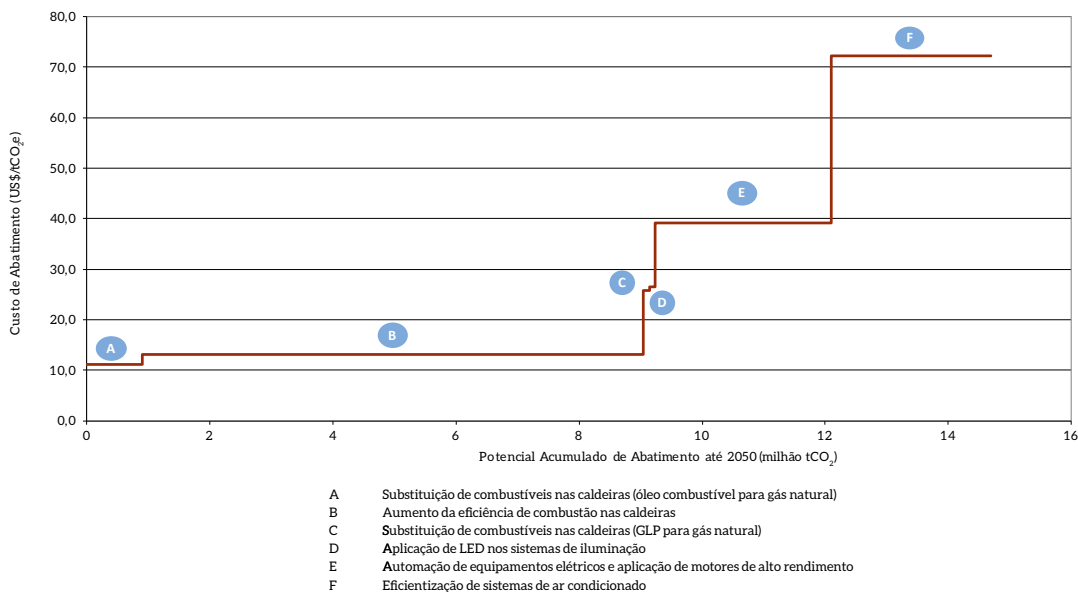
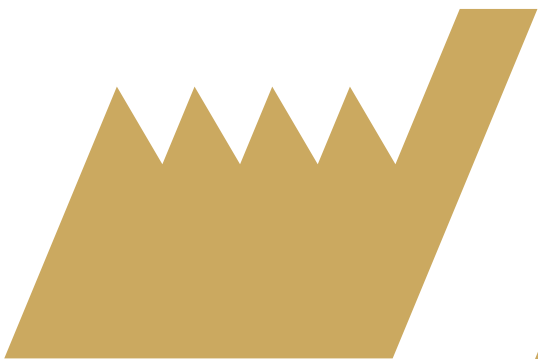


Figura 14 – Curva de Custos Marginais de Abatimento do Setor Têxtil para Taxa de Desconto de 18% ao ano

Fonte: Elaboração própria

Percebe-se que a medida com custo negativo referente à aplicação da tecnologia LED passa a ter custo positivo devido ao aumento da taxa de desconto. Nas demais medidas, observa-se também esse aumento, porém sempre em escala positiva. A medida relacionada com a melhoria de eficiência nas caldeiras tem maior potencial de abatimento, com custo relativamente baixo, dados os potenciais cobenefícios ambientais e energéticos relacionados.

Por fim, deve-se novamente enfatizar que o potencial total de abatimento do cenário BC em relação ao cenário REF, em 2050, é de 13%. Esse potencial poderia ser ampliado mediante o investimento em P&D de tecnologias inovadoras, as quais serão avaliadas a seguir no cenário BC+I.



# Cenário de baixo carbono com inovação

Capítulo

**5**

## 5 CENÁRIO DE BAIXO CARBONO COM INOVAÇÃO

O presente capítulo apresenta, primeiramente, a análise da inovação no setor têxtil por meio da descrição das tecnologias em fase de desenvolvimento com potencial de viabilização comercial no médio e no longo prazo. Em seguida, são descritos premissas e parâmetros considerados na construção do cenário BC+I para o setor têxtil brasileiro. Por fim, são apresentadas as projeções de demanda de energia e emissões de CO<sub>2</sub> relativas ao cenário.

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

### 5.1 TECNOLOGIAS INOVADORAS PARA O SETOR TÊXTIL

Visando à construção do cenário BC+I, apresentam-se, nesta seção, as tecnologias emergentes ou disruptivas com potencial para reduzir o consumo de energia e as emissões de GEE geradas pelos processos de produção do setor têxtil no país, considerando-se o horizonte de longo prazo, até o ano de 2050.

Foram considerados os seguintes estudos para mapeamento de tecnologias disruptivas ou emergentes com potencial de mitigar emissões de GEE no setor têxtil: Hasanbeigi e Price (2015), Islam e Mohammad (2014), CIPEC (2007), ECCJ (2007), Schönberger e Schäfer (2003) e EIPPCB (2003). A recente revisão das tecnologias emergentes para o setor têxtil elaborada por Hasanbeigi e Price (2015) apresenta uma visão geral dos processos do setor têxtil e compila informações e referências sobre essas tecnologias, classificando-as em quatro subsetores: fabricação de fibras sintéticas, fiação, tecelagem e processamento úmido.

Nesse estudo, Hasanbeigi e Price selecionaram as seguintes tecnologias emergentes para o setor têxtil:

- Fabricação de fibras sintéticas – tecnologia Nanoval®;
- Fiação – fiação a jato de ar e Vortex®; e fiação a fricção;
- Tecelagem – teares multifásicos;
- Processamento úmido – tratamentos enzimáticos; tratamentos ultrassônicos; radiação com feixes de elétrons; uso de ozônio para alvejamento de fibras de algodão; pré-tratamento avançado de fibras de algodão; uso de CO<sub>2</sub> supercrítico no tingimento; redução eletroquímica de corantes; uso de tecnologia de plasma; uso de espumas no acabamento de materiais têxteis; uso de micro-ondas; uso de produtos auxiliares alternativos; impressão digital.



Esforços de pesquisa, desenvolvimento e inovação direcionados ao setor têxtil também foram reportados no livro *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing* (MUTHU, 2014). As informações sobre as tecnologias emergentes descritas nesse livro convergem com aquelas compiladas por Hasanbeigi e Price (2015).

As tecnologias emergentes para o setor têxtil, identificadas pelo European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, referem-se a: i) tratamentos enzimáticos para acabamento de tecidos de algumas fibras naturais, como algodão, seda, lã e juta; ii) uso de tecnologia de plasma; iii) radiação por feixes de elétrons; iv) uso de CO<sub>2</sub> supercrítico em tingimento; v) tingimento eletroquímico; vi) produtos auxiliares alternativos; e vii) processos avançados de tratamento de águas residuais (EIPPCB, 2003).

Outro estudo prospectivo publicado pelo Institute for Manufacturing (IfM), da University of Cambridge, no âmbito de uma iniciativa do Reino Unido, qual seja, a Biffaward Programme on Sustainable Resource Use, teve por objetivo traçar três cenários para o setor têxtil. Esses cenários abordam os impactos ambientais, econômicos e sociais das mudanças na estrutura de produção do setor, incluindo mudanças de comportamento dos consumidores e difusão de inovações de processo e de produtos têxteis. Os cenários do IfM intitulam-se: fibras alternativas, produção “verde” e funções inteligentes dos materiais têxteis. Embora apresente conteúdos de interesse para o presente mapeamento, particularmente os do terceiro cenário, o estudo do IfM não contempla discussões mais aprofundadas sobre avanços tecnológicos e tecnologias emergentes.

Finalmente, os estudos de CIPEC (2007), ECCJ (2007), Schönberger e Schäfer (2003) e EIPPCB (2003) enfatizam tecnologias inovadoras, mas já disponíveis no mercado. Para fins de mapeamento, esses estudos foram também analisados com o objetivo de confirmar se a seleção das tecnologias emergentes abordadas neste trabalho não incluía tecnologias disponíveis comercialmente, visto que fizeram parte do cenário BC elaborado nesse estudo.

*Technology readiness level* (TRL) avalia o nível de maturidade ou a prontidão de tecnologias identificadas (EIPPCB, 2015). A escala para avaliação da prontidão tecnológica consiste de nove níveis, variando de 1 a 9, que representam o estágio de maturidade em que se encontram e o grau de incerteza e risco associado ao uso de determinada tecnologia em novos processos ou produtos. Ou seja, quanto menor o TRL, maior o grau de incerteza e maior o risco associado à tecnologia em questão. Para fins da avaliação pretendida, utilizou-se a escala descrita no Quadro 8. Considerou-se o nível TRL igual ou inferior a 6 como a linha de corte para distinguir as tecnologias emergentes ou disruptivas abordadas no cenário BC+I daquelas avaliadas no cenário BC.

**Quadro 8 – Escala para Avaliação da Prontidão Tecnológica (TRL) de Dada Tecnologia**

| Nível | Estágio de maturidade tecnológica                                              |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|
| TRL 1 | Princípios básicos observados e reportados                                     |
| TRL 2 | Conceito da tecnologia ou ideia de aplicação formulada                         |
| TRL 3 | Prova de conceito característica                                               |
| TRL 4 | Tecnologia ou componentes da tecnologia validados em ambiente laboratorial     |
| TRL 5 | Tecnologia testada em ambiente operacional                                     |
| TRL 6 | Demonstração do modelo ou protótipo em ambiente operacional                    |
| TRL 7 | Demonstração da tecnologia ( <i>full-scale</i> ) em ambiente operacional       |
| TRL 8 | Tecnologia comprovada e economicamente viável para ser implantada na indústria |
| TRL 9 | Tecnologia implantada na indústria                                             |

Fonte: Adaptado de US DOD, 2011

Como resultado da análise dos estudos mencionados, apresentam-se na Tabela 35 as principais tecnologias emergentes ou disruptivas avaliadas para o setor têxtil, com TRL variando de 1 a 6. Também se descreve a taxa de adoção atual das tecnologias no setor têxtil, assim como sua aplicabilidade aos processos produtivos.

**Tabela 35 – Tecnologias Emergentes ou Disruptivas Aplicáveis ao Setor Têxtil**

| Tecnologias                                          | TRL | Taxa de adoção | Aplicabilidade |
|------------------------------------------------------|-----|----------------|----------------|
| Novas fibras sintéticas superfinas                   | 5   | 0%             | 100%           |
| Tratamentos enzimáticos                              | 4-6 | 0%             | 100%           |
| Tratamentos ultrassônicos                            | 5   | 0%             | 100%           |
| Radiação por feixes de elétrons                      | 4   | 0%             | 100%           |
| Uso de ozônio para alveamento de fibras de algodão   | 4   | 0%             | 100%           |
| Pré-tratamento avançado de fibras de algodão         | 5   | 0%             | 100%           |
| Uso de CO <sub>2</sub> supercrítico                  | 5   | 0%             | 100%           |
| Tingimento eletroquímico                             | 4   | 0%             | 100%           |
| Uso de tecnologia de plasma                          | 5   | 0%             | 100%           |
| Uso de micro-ondas                                   | 4   | 0%             | 100%           |
| Produtos auxiliares alternativos                     | 4-6 | 0%             | 100%           |
| Processos avançados de tratamento de águas residuais | 4-6 | 0%             | 100%           |
| Novos materiais e têxteis funcionais ou inteligentes | 4-6 | 0%             | 100%           |
| Roupas refrigeradas                                  | 6   | 0%             | 100%           |
| Refletores de alta reflectância                      | 2   | 0%             | 100%           |
| Estanqueidade máxima (luminárias autolimpantes)      | 2   | 0%             | 100%           |

Fonte: Elaborado a partir de HASANBEIGI E PRICE, 2015; ISLAM E MOHAMMAD, 2014; US DOD, 2011; CIPEC, 2007; ECCJ, 2007; SCHÖNBERGER E SCHÄFER, 2003; EIPPCB, 2003

Na sequência, busca-se caracterizar, de forma sucinta, as tecnologias emergentes ou disruptivas apresentadas na Tabela 35.

### 5.1.1 NOVAS FIBRAS SINTÉTICAS SUPERFINAS

O processo Nanoval é uma tecnologia inovadora para produção de fibras sintéticas superfinas e requer muito menos energia em comparação com a tecnologia de fiação convencional. Essa tecnologia baseia-se em um mecanismo que produz filamentos muito finos, que podem ter diâmetros menores que 1 micrometro (mm). O processo consiste na divisão de um monofilamento fundido já bem fino em um número de filamentos ainda mais finos – normalmente cerca de 50, podendo chegar até centenas de novos filamentos (NONWOVENS INDUSTRY, 2006; HUTTEN, 2007).

A empresa Nanoval GmbH, que vem desenvolvendo essa tecnologia em escala-piloto, destaca as seguintes vantagens comparativas em relação a tecnologias convencionais: i) utilização de ar frio no processo de fiação, eliminando a necessidade de aquecimento de ar; ii) menor consumo de energia; e iii) taxa de produção mais elevada por filatório, não havendo necessidade de têmpera de ar para altas taxas de transferência, porque esse processo de fiação utiliza ar frio (NANOVAL GMBH, 2015; HASANBEIGI; PRICE, 2015).

### 5.1.2 TRATAMENTOS ENZIMÁTICOS

Enzimas podem ser usadas em processos de acabamento de superfícies têxteis e os novos tratamentos enzimáticos estão voltados para fibras naturais, como algodão, lã, seda e juta. Também podem ser empregadas na remoção enzimática de peróxido de hidrogênio residual após o processo de alvejamento (EIPPCB, 2003; HASANBEIGI; PRICE, 2015).

### 5.1.3 TRATAMENTOS ULTRASSÔNICOS

Os processamentos úmidos, como lavagem, tingimento, mercerização e alvejamento, requerem muita energia e elevadas quantidades de água. Na maioria deles, a intensificação da transferência de massa é um parâmetro importante para o aumento de sua eficiência. Os métodos convencionais para intensificar a transferência de massa em têxteis nem sempre são viáveis devido à geração de alguns efeitos indesejados que danificam a amostra (GOTOH; HARAYAMA, 2013; GALLEGUO-JUAREZ, 2010; WANG et al., 2012).

Na perspectiva de equacionar essa questão, os tratamentos ultrassônicos em têxteis têm se mostrado promissores pelas vantagens que oferecem e se encontram em fase piloto (HASANBEIGI; PRICE, 2015; ISLAM; MOHAMMAD, 2014).

Os vários estudos que abordam a aplicação de tratamentos ultrassônicos nos processos úmidos da indústria têxtil ressaltam benefícios consideráveis, como: i) economia de energia resultante de temperaturas de processo mais baixas e ciclos mais curtos de processamento; ii) redução do consumo de corantes e produtos químicos, o que permite redução de 20% a 30% na quantidade de efluentes; iii) economia de água de cerca de 20%; iv) melhoria na qualidade do produto final; v) aumento da produtividade devido a ciclos mais curtos de processamento (VOUTERS et al., 2004; HASANBEIGI; PRICE, 2015).

### 5.1.4 RADIAÇÃO POR FEIXES DE ELÉTRONS

O tratamento de superfícies têxteis empregando radiação por feixes de elétrons tem sido objeto de pesquisas, estando essa tecnologia em estágio de desenvolvimento. A radiação com feixe de elétrons pode ser empregada para a fixação do corante após a impressão, com uma pasta contendo um monômero corante e um monômero catiônico, especialmente selecionado para esse fim. Em testes de laboratório, a meta de 100% de utilização desses corantes foi quase alcançada (HASANBEIGI; PRICE, 2015; HAN; CHOI, 2010).

Dentre os processos de oxidação avançada, Abdou et al. (2011) consideram a radiação ionizante por feixe de elétrons uma das principais tecnologias emergentes indicadas para o tratamento de efluentes dos processamentos têxteis úmidos. Esses efluentes caracterizam-se pela presença de corantes, surfactantes e outros produtos químicos tóxicos que podem ser degradados pelo emprego dessa tecnologia.

O tratamento de superfícies têxteis ou de efluentes empregando radiação por feixes de elétrons apresenta as seguintes vantagens, quando comparado aos tratamentos convencionais: i) permite a utilização de formulações livres sem uso de solventes, o que reduz significativamente as emissões de compostos orgânicos voláteis durante a secagem; ii) pode ser realizado à temperatura ambiente, reduzindo o consumo de energia; iii) reduz o tempo de processamento e aumenta a produtividade no caso de tratamento de superfícies; iv) não gera resíduos no tratamento de efluentes, sem risco de gerar material radioativo, porque o tipo de radiação utilizada não interfere no núcleo das moléculas da água (HASANBEIGI; PRICE, 2015; ABDU et al., 2011).

### 5.1.5 USO DE OZÔNIO PARA ALVEJAMENTO DE FIBRAS DE ALGODÃO

O alvejamento convencional de fibras de algodão consome grandes quantidades de energia, água e produtos químicos (peróxido de hidrogênio, dentre outros), além de gerar efluentes com componentes químicos e partículas sólidas em suspensão (OZONE BLEACH ASSOCIATION, 2015; PERINCEK et al., 2007). O consumo situa-se entre 12 a 16 litros de água para cada 1 kg de tecido preparado para tingir, sendo esse também volume aproximado de efluente líquido descartado após o processo. Também requer temperaturas de processamento em torno de 95° C e aditivos químicos para remoção das impurezas presentes nas fibras, em um processo que dura entre 30-60 minutos.

Considerando a presença dessa grande quantidade de água, a transferência de massa do ozônio ocorre da seguinte forma: i) transferência de ozônio da fase gasosa através do filme de gás para o limite interfacial gás-líquido; ii) transferência de ozônio do limite interfacial através do filme líquido para a fase líquida; iii) difusão e convecção das moléculas de ozônio da fase líquida para a camada de líquido em contato com a superfície da fibra; iv) difusão do ozônio e radical hidroxila a partir da camada de líquido superficial para a fibra; v) transferência de massa interfibra para estruturas multifibras; vi) transferência de massa intrafibra.

A utilização de ozônio ( $O_3$ ) para alvejar as fibras de algodão está ainda em fase de desenvolvimento no mundo, sendo seu potencial de oxidação de 2,07 elétrons-volts (eV). Em termos comparativos, o potencial de oxidação do peróxido de hidrogênio – hoje o agente de alvejamento amplamente utilizado no setor têxtil – é 1,77 eV (EREN; OZTURK, 2011).

Como reportado nas revisões de Hasanbeigi e Price (2015) e de Islam e Mohammad (2014), o uso de ozônio para branqueamento de fibras de algodão apresenta os seguintes benefícios em relação ao branqueamento convencional, que utiliza peróxido de hidrogênio: i) redução do consumo de energia em função de o branqueamento ser realizado em temperatura ambiente, sem necessidade de aquecimento ou resfriamento durante o processo; ii) redução de emissões de  $CO_2$  em até 50%; iii) economia significativa no consumo de água; iv) não há necessidade do emprego de produtos químicos nocivos; v) aumento da produtividade, porque o tempo de branqueamento é muito curto com emprego do  $O_3$ .

### 5.1.6 PRÉ-TRATAMENTO AVANÇADO DE FIBRAS DE ALGODÃO

A alteração da estrutura molecular da fibra de algodão proporcionada por esse pré-tratamento pode aumentar a receptividade da fibra ao tingimento, o que evita o uso de álcalis e de sal para a fixação do corante (TEXTILE WORLD, 2012).

Dentre as alternativas de pré-tratamento de fibras de algodão, destaca-se o processo catiônico em desenvolvimento pela ColorZen. Essa tecnologia baseia-se no conceito do pré-tratamento, e o único produto auxiliar empregado em pequenas quantidades é um agente umectante (COLORZEN, 2015). Os custos operacionais estimados são um pouco mais elevados, quando comparados aos dos processos convencionais de pré-tratamento de fibras de algodão. No entanto, não é necessário investir em novos equipamentos. No longo prazo, a economia obtida com a redução do consumo de energia, água, corante e produtos químicos auxiliares poderá compensar esses custos adicionais no início da implantação dessa tecnologia.

Conforme informações da empresa que desenvolveu essa tecnologia de pré-tratamento avançado para fibras de algodão, ela apresenta as seguintes vantagens em relação aos processos convencionais de tingimento de fibras não tratadas previamente: i) redução do consumo de energia em até 75%, porque o corante é aplicado a temperaturas mais baixas; ii) redução do consumo de água de 90%; iii) redução da quantidade de corantes, sem necessidade de adição de álcalis e sal para fixação do corante; iv) menor custo para tratamento das águas residuais do tingimento; v) índices mais altos de produtividade, porque o processo é três vezes mais rápido do que os convencionais (COLORZEN, 2012).

### 5.1.7 USO DE CO<sub>2</sub> SUPERCRÍTICO

O CO<sub>2</sub> supercrítico pode ser empregado na preparação de fios, no tingimento e no acabamento de tecidos de poliéster, nylon, algodão, lã, seda e outros, sem gerar efluentes e possíveis danos ambientais.

Focalizando-se especificamente o processo de tingimento com emprego de CO<sub>2</sub> supercrítico (scCO<sub>2</sub>), este tem sido considerado uma alternativa atrativa em relação aos métodos convencionais úmidos empregados atualmente na indústria têxtil, como reportado em diversos trabalhos (LONG et al., 2014; TUSEK et al., 2000; ISLAM; MOHAMMAD, 2014). Long et al. (2014) apresentam uma revisão das diversas iniciativas em escala laboratorial e piloto que vêm sendo conduzidas em diversos países e avaliam que essa tecnologia ainda se encontra em escala-piloto.

Conforme Hasanbeigi e Price (2015), esse novo método traz muitas vantagens em relação ao método convencional de tingimento, como: i) emissão zero de CO<sub>2</sub>, uma vez que o CO<sub>2</sub> gerado pode ser reciclado; ii) redução significativa do consumo de energia, porque nenhuma etapa de secagem é requerida após o tingimento; iii) consumo de água quase zero; iv) exigências mínimas de produtos auxiliares, com alta taxa de rendimento de tingimento e excelente fixação do corante; v) potencial de reutilização dos corantes usados.

### 5.1.8 TINGIMENTO ELETROQUÍMICO

Corantes à tina (incluindo índigo) e sulfurosos representam uma grande parcela do mercado de corantes para fibras celulósicas. Não obstante as vantagens conhecidas dessas classes de corantes, seu emprego exige procedimentos complexos de aplicação, envolvendo etapas de redução e de oxidação (ISLAM; MOHAMMAD, 2014).

Os agentes de redução convencionais podem gerar subprodutos não regeneráveis, que permanecem no banho de tingimento. Por essa razão, os banhos de tingimento não podem ser reciclados, uma vez que o poder redutor dos agentes não pode ser recuperado de um banho para outro. A eliminação dos banhos de tingimento ocasiona uma série de problemas ambientais devido à presença de produtos químicos nocivos nos efluentes (DAS et al., 2012). Uma alternativa que vem sendo desenvolvida é a redução eletrolítica desses corantes no tingimento de têxteis. Pela eletrólise direta, o corante é reduzido na superfície do catodo. Na prática, o corante é parcialmente reduzido, usando-se um agente de redução convencional e, em seguida, a redução é concluída por um processo eletroquímico (DAS et al., 2012).

Esta é uma tecnologia que se encontra ainda em desenvolvimento, como reportado por Islam e Mohammad (2014), Bechtold e Turcanu (2009) e Das et al. (2012). Testes de redução eletrolítica de corantes à tina realizados em escala laboratorial vêm demonstrando o grande potencial de adoção da redução eletroquímica de corantes em relação ao emprego de agentes de redução convencionais.

Hasanbeigi e Price (2015) apresentam as seguintes vantagens dessa tecnologia: i) reciclagem do sistema mediador e dos licores de tingimento, reduzindo significativamente o consumo de água e de produtos químicos; ii) nenhum efeito adverso à vida aquática pela ausência de sulfatos e sulfitos, que são produtos químicos tóxicos; iii) considerável redução da descarga de águas residuais, resultando em economia de energia nas centrais de tratamento de efluentes; iv) permite evitar o odor e outros problemas causados por agentes redutores convencionais contendo enxofre.

#### **5.1.9 USO DE TECNOLOGIA DE PLASMA**

Plasma constitui um meio extremamente reativo, composto por uma mistura de íons, elétrons e radicais livres, capaz de promover alterações significativas na estrutura dos materiais poliméricos, especialmente sobre sua superfície, utilizando-se apenas energia elétrica, sem a necessidade de água ou de produtos químicos auxiliares.

O tratamento com plasma tem grande potencial de aplicação industrial no acabamento de materiais têxteis com vantagens ecológicas e econômicas, além de possibilitar a produção de novos efeitos na superfície desses materiais (IBRAHIM, 2012).

A tecnologia de plasma de baixa pressão encontra-se hoje em escala-piloto, conforme avaliação reportada por Hasanbeigi e Price (2015). Uma razão fundamental para essa tecnologia ainda não ser comercial é que é necessária uma câmara a vácuo para secagem prévia e cuidadosa dos têxteis que vão receber esse tratamento. O grande volume de tecidos a serem tratados, a umidade dos tecidos (especialmente, os de fibras naturais) e a presença de resíduos de produtos químicos auxiliares são fatores que elevam os custos operacionais do tratamento com plasma, dificultando seu emprego (ISLAM; MOHAMMAD, 2014; KAN; YUEN, 2007).

Apesar das restrições citadas, Hasanbeigi e Price (2015) destacam em sua revisão que o uso de plasma nos tratamentos de materiais têxteis tem os seguintes benefícios em comparação com as técnicas convencionais: i) baixa temperatura de aplicação, o que economiza energia; ii) nenhum ou pouco consumo de água e de solventes; iii) evita a realização de etapas de secagem após o procedimento com uso de plasma, economizando-se energia; iv) economia considerável de corantes e de produtos auxiliares de acabamento; v) redução do tempo de tratamento; vi) melhoria significativa na estamparia de tecidos de lã.

#### **5.1.10 USO DE MICRO-ONDAS**

Micro-ondas são ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda que variam de 0,3 GHz de frequência até 300 GHz de frequência. Como alternativa às técnicas convencionais de aquecimento, a energia de micro-ondas tem sido empregada em processos industriais de vários setores, permitindo um aquecimento rápido, uniforme e eficaz (BÜYÜKAKINCI, 2012).

Em particular, no setor têxtil, a energia de micro-ondas tem sido testada em sistemas de aquecimento, nos processos de secagem, condensação, tingimento, acabamento e no acabamento de superfícies dos materiais (KAN; YUEN, 2007; ISLAM; MOHAMMAD, 2014; FOUDA et al., 2009; HASHEM et al., 2014; BHAT et al., 2009; BHAT; KALE, 2012; KATOVIC et al., 2010).

Como sintetizado por Hasanbeigi e Price (2015), o aquecimento por micro-ondas no processamento têxtil úmido traz os seguintes benefícios, em comparação com as técnicas convencionais de aquecimento: i) menor consumo de energia; ii) redução de emissões; iii) aquecimento localizado, reduzindo o desperdício de energia no processo de aquecimento; iv) aquecimento mais rápido, o que aumenta a produtividade e reduz o consumo de energia; v) aquecimento mais uniforme.

### 5.1.11 PRODUTOS AUXILIARES ALTERNATIVOS

Hauser (2006), em seu estudo sobre tendências e avanços tecnológicos de produtos auxiliares nos diversos processamentos úmidos da indústria têxtil, descreve uma série de novos produtos auxiliares que vêm sendo desenvolvidos para reduzir o impacto ambiental, o consumo energético e as emissões de GEE. Dentre esses produtos auxiliares, destacam-se os surfactantes especiais, agentes catiônicos, ativadores de alvejantes e agentes dispersantes alternativos. Ácidos policarbônicos podem substituir produtos auxiliares responsáveis por emissões de formaldeído (EIPPCB, 2003).

Ciclodextrinas (CDs) podem ser empregadas nos processos de lavagem, tingimento e beneficiamento. As ciclodextrinas podem ser aplicadas nos acabamentos de superfície, modificando as propriedades das fibras. As pesquisas mais recentes sobre aplicações de CDs no setor têxtil demonstram que o maior interesse e o maior potencial consistem na imobilização ou ancoragem de moléculas de CDs em polímeros com aplicação têxtil (ANDREAUS, 2010).

De acordo com Hasanbeigi e Price (2015), os estágios de desenvolvimento de produtos alternativos atualmente variam de desenvolvimento em bancada até demonstração. As substituições de produtos auxiliares convencionais podem trazer um ou mais dos seguintes benefícios: i) redução do consumo de energia e de água; ii) redução de emissões; iii) maior produtividade; iv) carga reduzida para as centrais de tratamentos de efluentes e águas residuais.

### 5.1.12 PROCESSOS AVANÇADOS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Processos avançados de oxidação para tratamento de águas residuais, como fotólise de peróxido de hidrogênio combinada com bioflotação, incluem os chamados *reed bed systems* (RBS), que empregam plantas para o tratamento de águas residuais (EIPPCB, 2003).

### 5.1.13 NOVOS PRODUTOS TÊXTEIS FUNCIONAIS OU INTELIGENTES

Hoje em dia, já existem no mercado fibras e tecidos com funções especiais, como os que oferecem proteção às radiações UV, os tecidos antichama, fibras perfumadas e terapêuticas, têxteis com função antimicrobiana, para citar alguns exemplos (SINCLAIR, 2014). Para fins desse mapeamento, consideram-se somente o desenvolvimento de novos produtos têxteis, tanto na cadeia têxtil de fibras naturais quanto na cadeia de fibras sintéticas.

Com os avanços das tecnologias emergentes, as diferenças entre as propriedades das fibras químicas e das fibras naturais se reduzirão significativamente. Será possível obter produtos de fibras químicas com o conforto das fibras naturais, bem como produtos de fibras naturais tão resistentes quanto as fibras químicas (COSTA et al., 2011). A funcionalização dos produtos têxteis pode ocorrer por diversos procedimentos, considerando-se que as propriedades complexas adicionadas aos têxteis dependem do processo de fabricação, da qualidade da fibra e dos tratamentos químicos, físicos e mecânicos. Como



exemplos, citam-se a fabricação de fibras sintéticas superfinais, bi e tricomponentes, o desenvolvimento de novos tipos de fibras e novos polímeros, nova configuração estrutural das fibras e incorporação de micro e nanoaditivos na matéria-prima empregada na produção desses materiais (BITTENCOURT; 2010).

Destaca-se ainda a pesquisa biomimética, por ser um campo de rápido avanço e com potencial de desenvolvimento de novos têxteis sustentáveis, especialmente os materiais técnicos para diversas áreas (EADIE; GOSH, 2011). Tecidos técnicos são produtos usados por seu desempenho ou por suas características funcionais, de aplicação industrial ou não direcionada ao consumidor, podendo abranger produtos finais ou intermediários. Sua classificação depende do uso final do produto, e não do tipo de fio ou fibra utilizado. Os tecidos técnicos constituem um importante segmento do setor têxtil, com possibilidades significativas de crescimento, dadas as suas inúmeras possibilidades de uso e de desenvolvimento tecnológico. Vale lembrar que, assim como nos têxteis não técnicos, existem nesse segmento produtos de alta tecnologia e inovadores.

#### 5.1.14 ROUPAS REFRIGERADAS

Já usados por pilotos de corrida, motociclistas, operadores de fornalhas e outros, são os coletes dotados de refrigeração, mas pesados e desconfortáveis. Nesse particular, Ralph Liedert, em conjunto com uma equipe que opera no VTT – Technical Research Centre, na Finlândia, desenvolve um protótipo que cobre o pescoço e os ombros das pessoas e poderá ser usado por baixo de uma camiseta. A água refrigerante deverá ser captada do vapor emanado pelo corpo, permitindo, ao mesmo tempo, remover o calor do sangue em circulação. Pretende-se utilizar *smartphones* sem fio como acionadores do sistema e vislumbra-se a aplicação de sistema reverso para aquecimento a baixas temperaturas.

#### 5.1.15 REFLETORES DE ALTA REFLECTÂNCIA

Inovação introduzida pela empresa Schröder, o HiR® (High reflect) é um refletor em várias camadas (*multi-layer*) usado em luminárias industriais e públicas. Esse refletor permite alcançar um coeficiente de reflexão de 95% e um ganho em luminância de 10% a 15%, quando comparado com refletores anodizados. Esse procedimento foi melhorado ainda mais com a nova geração HiR2®.

#### 5.1.16 ESTANQUEIDADE MÁXIMA (LUMINÁRIAS AUTOLIMPANTES)

A empresa Schröder também inventou o sistema Sealsafe®, referência global para o nível de estanqueidade do compartimento ótico. Esse sistema aumenta o grau de limpeza interna durante o ciclo de vida do conjunto ótico. Se o compartimento ótico permanece limpo, isso significa que o desempenho fotométrico da luminária pode ser mantido sem a necessidade de manutenção. Uma vez que a quantidade de luz saída inicialmente pode ser mantida, já não é necessário aumentar a potência das lâmpadas para superar a perda de luz ao longo do tempo. Essa característica resulta em economia real em termos de energia e de custos.

### 5.2 PREMISSAS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com os dados apresentados, foi possível encontrar parâmetros considerados para projetar consumo de energia e emissões do cenário BC+I. O estudo teve como foco o detalhamento das tecnologias inovadoras a serem empregadas no setor industrial têxtil, no que diz respeito ao seu potencial de economia de energia, redução de emissões de CO<sub>2</sub> e custos de investimento e operação e manutenção.

Vale ressaltar que os dados sobre potencial de economia, redução de emissões de CO<sub>2</sub> e/ou custos de investimento e operação e manutenção das tecnologias inovadoras, quando não conseguidos, foram estimados por especialistas do setor. Esses parâmetros são resumidos no Quadro 9.



Quadro 9 – Descrição das Potencialidades das Tecnologias de Ruptura

| Tecnologias                                          | Descrição e potenciais de economia de energia, água ou redução de emissões*                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Novas fibras muito finas                             | Utilização de ar frio no processo de fiação, eliminando a necessidade de aquecimento de ar. Economia de 25% no consumo de combustíveis.                                                                                                                                                                |
| Tratamentos enzimáticos                              | Redução do consumo de água pela eficácia no acabamento de tecidos. Economia de 20% no consumo de água.                                                                                                                                                                                                 |
| Tratamentos ultrasônicos                             | Economia de energia resultante de temperaturas de processo mais baixas e ciclos mais curtos de processamento. Economia de água de cerca de 20%.                                                                                                                                                        |
| Radiação por feixes de elétrons                      | A fixação de corantes pode ser realizada à temperatura ambiente, reduzindo o consumo de energia. Economia de 20% no consumo de combustíveis.                                                                                                                                                           |
| Uso de ozônio para alveamento                        | Redução do consumo de energia em até 50% nesse processo, em função de o branqueamento ser realizado em temperatura ambiente, sem necessidade de aquecimento ou resfriamento durante o processo, além de economia significativa no consumo de água.                                                     |
| Pré-tratamento avançado das fibras de algodão        | Redução do consumo de energia em até 75% nesse processo, porque o corante é aplicado a temperaturas mais baixas, além de redução do consumo de água de 90%.                                                                                                                                            |
| Uso do CO <sub>2</sub> supercrítico                  | Emissão zero de CO <sub>2</sub> uma vez que o CO <sub>2</sub> gerado pode ser reciclado. Redução significativa de 50% do consumo de energia, porque nenhuma etapa de secagem é requerida após tingimentos.                                                                                             |
| Tingimento eletroquímico                             | Reciclagem do sistema mediador e dos licores de tingimento, reduzindo significativamente o consumo de água e de produtos químicos. Considerável redução da descarga de águas residuais, resultando em economia de energia nas centrais de tratamento de efluentes. Economia de 20% no consumo de água. |
| Uso da tecnologia de plasma                          | Baixa temperatura de aplicação, o que economiza energia e evita a realização de etapas de secagem, economizando-se cerca de 30% da energia consumida.                                                                                                                                                  |
| Uso de micro-ondas                                   | Aquecimento localizado, reduzindo o consumo de energia em 40% no processo de aquecimento.                                                                                                                                                                                                              |
| Produtos auxiliares alternativos                     | As substituições por produtos auxiliares alternativos visam ao “pulo de etapas” do processo, resultando em redução do consumo de energia e de água e consequentemente de emissões da ordem de 30% a 40%.                                                                                               |
| Processos avançados de tratamento de águas residuais | Processos avançados de oxidação para tratamento de águas residuais, como fotólise de peróxido de hidrogênio combinada com bioflotação, resultará numa economia de 50% no consumo de água.                                                                                                              |
| Novos produtos funcionais ou inteligentes            | Esses novos produtos buscam o encanto dos consumidores e o “pulo de etapas” do processo, resultando em redução do consumo de energia e de água e consequentemente de emissões da ordem de 30% a 40%.                                                                                                   |
| Roupas refrigeradas                                  | Economia no consumo de energia elétrica devido à redução do uso de sistemas de climatização de ambientes. Economia da ordem de 10% a 20% no consumo de energia elétrica para esse uso final.                                                                                                           |
| Refletores de alta refletância 95%                   | Economia de até 30% no consumo de energia elétrica devido à concentração da luz e à diminuição das potências das lâmpadas.                                                                                                                                                                             |
| Estanqueidade máxima                                 | Aumento da vida útil das lâmpadas e acessórios, além da diminuição das perdas por depreciação das lâmpadas. Economia da ordem de 10%.                                                                                                                                                                  |

\* Nas referências citadas na Tabela 35 foram encontrados somente percentuais de economia de energia, água ou redução de emissões. Portanto, a inexistência de parâmetros econômicos é intrínseca das tecnologias de rupturas avaliadas.

Fonte: Elaboração própria

Algumas tecnologias listadas no Quadro 9 poderiam ser implementadas no curto prazo, o que permitira a penetração máxima até 2050. Na Tabela 36 e na Tabela 37, observam-se os limites máximos de penetração e demanda de energia das tecnologias inovadoras consideradas no cenário BC+I até 2050, subdivididas por medidas que resultam em economia de vapor e de eletricidade. A penetração máxima foi definida a partir da Equação 1.

**Tabela 36 – Penetrações Máximas das Tecnologias Inovadoras**

|                                                  | Tecnologias                                          | Penetrações Máximas |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|
|                                                  |                                                      | 2020                | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
| Medidas que Resultam em Economia de Vapor        | Novas fibras muito finas                             | 12%                 | 22%  | 36%  | 55%  | 80%  | 95%  | 100% |
|                                                  | Tratamentos ultrassônicos                            | 1%                  | 3%   | 5%   | 10%  | 20%  | 30%  | 45%  |
|                                                  | Radiação por feixes de elétrons                      | 1%                  | 3%   | 5%   | 10%  | 20%  | 30%  | 45%  |
|                                                  | Uso de ozônio para alveamento                        | 1%                  | 3%   | 5%   | 10%  | 20%  | 30%  | 45%  |
|                                                  | Pré-tratamento avançado das fibras de algodão        | 12%                 | 22%  | 36%  | 55%  | 80%  | 95%  | 100% |
|                                                  | Uso do CO <sub>2</sub> supercrítico                  | 3%                  | 6%   | 8%   | 10%  | 20%  | 30%  | 45%  |
|                                                  | Tingimento eletroquímico                             | 2%                  | 5%   | 8%   | 10%  | 22%  | 30%  | 42%  |
|                                                  | Uso da tecnologia de plasma                          | 1%                  | 3%   | 5%   | 8%   | 15%  | 28%  | 40%  |
|                                                  | Uso de micro-ondas                                   | 2%                  | 4%   | 6%   | 10%  | 20%  | 30%  | 45%  |
| Medidas que Resultam em Economia de Eletricidade | Novos produtos funcionais ou inteligentes            | 12%                 | 22%  | 36%  | 55%  | 80%  | 95%  | 100% |
|                                                  | Processos avançados de tratamento de águas residuais | 10%                 | 20%  | 32%  | 45%  | 55%  | 70%  | 90%  |
|                                                  | Roupas refrigeradas                                  | 3%                  | 5%   | 8%   | 12%  | 20%  | 25%  | 30%  |
|                                                  | Refletores de alta reflectância                      | 12%                 | 22%  | 36%  | 55%  | 80%  | 95%  | 100% |
|                                                  | Estanqueidade máxima                                 | 12%                 | 22%  | 36%  | 55%  | 80%  | 95%  | 100% |

Fonte: Elaboração própria

Dentre as tecnologias consideradas no cenário BC+I, há casos excludentes. Ou seja, duas ou mais tecnologias podem ser aplicadas em mesma etapa/equipamento do processo de produção. Entretanto, visto que foram consideradas taxas de penetração para cada uma das tecnologias e, quando somadas, em todos os anos, o resultado não ultrapassa 100%, tornou-se possível a aplicação de todas as tecnologias.

Algumas tecnologias com partida a partir de 2015 são experimentos internos das próprias empresas. Tais tecnologias já têm aplicações pontuais em nível comercial, a exemplo da Rhodia, que desenvolveu novas fibras muito finas e novos produtos funcionais e inteligentes.

Tabela 37 – Restrições Máximas de Energia Demandada pelas Medidas Inovadoras

|                                                  | Tecnologias                                          | Energia demandada (PJ/ano) |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                                                  |                                                      | 2020                       | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
| Medidas que Resultam em Economia de Vapor        | Novas fibras muito finas                             | 324                        | 339  | 385  | 428  | 438  | 439  | 399  |
|                                                  | Tratamentos ultrassônicos                            | 27                         | 46   | 54   | 79   | 109  | 139  | 179  |
|                                                  | Radiação por feixes de elétrons                      | 27                         | 46   | 54   | 79   | 109  | 139  | 179  |
|                                                  | Uso de ozônio para alvejamento                       | 27                         | 46   | 54   | 79   | 109  | 139  | 179  |
|                                                  | Pré-tratamento avançado das fibras de algodão        | 324                        | 339  | 385  | 428  | 438  | 439  | 399  |
|                                                  | Uso do CO <sub>2</sub> supercrítico                  | 81                         | 92   | 86   | 78   | 109  | 139  | 179  |
|                                                  | Tingimento eletroquímico                             | 54                         | 77   | 86   | 78   | 120  | 139  | 167  |
|                                                  | Uso da tecnologia de plasma                          | 27                         | 46   | 54   | 62   | 82   | 129  | 159  |
|                                                  | Uso de micro-ondas                                   | 54                         | 62   | 64   | 78   | 109  | 139  | 179  |
| Medidas que Resultam em Economia de Eletricidade | Novos produtos funcionais ou inteligentes            | 324                        | 339  | 385  | 428  | 438  | 439  | 399  |
|                                                  | Processos avançados de tratamento de águas residuais | 270                        | 308  | 342  | 350  | 301  | 324  | 359  |
|                                                  | Roupas refrigeradas                                  | 81                         | 77   | 86   | 93   | 109  | 116  | 120  |
|                                                  | Refletores de alta reflectância                      | 324                        | 339  | 385  | 428  | 438  | 439  | 399  |
|                                                  | Estanqueidade máxima                                 | 324                        | 339  | 385  | 428  | 438  | 439  | 399  |

Fonte: Elaboração própria

Para a construção do cenário BC+I, utilizou-se a mesma divisão dos cenários REF e BC, a qual separa o setor têxtil nos principais equipamentos consumidores de combustíveis e eletricidade. A eficiência das caldeiras foi revista a partir dos dados do Quadro 9, e foram utilizadas as mesmas taxas de crescimento do PIB constantes da Tabela 14 (HADDAD, 2015) para projetar a produção setorial e, a partir disso, a demanda de energia. Mais que isso, foram aplicados os mesmos fatores de emissão dos cenários REF e BC para obtenção das emissões de GEE (IPCC, 2006; MCTI, 2015; 2016; MCTIC, 2017).

### 5.3 PROJEÇÕES DE CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÕES DE GEE

A projeção de demanda de energia e emissões de CO<sub>2</sub> do cenário BC+I do setor têxtil foi realizada considerando-se a entrada das tecnologias inovadoras apresentadas no Quadro 9, com suas respectivas penetrações e produções máximas. Para isso, tendo como base o cenário BC, subtraiu-se a restrição de demanda máxima (MJ/ano) de cada uma das tecnologias, do consumo de energia do cenário BC, resultando, assim, em novos valores de consumo energético e, consequentemente, emissões de CO<sub>2</sub>.

A projeção de demanda do cenário BC+I é apresentada na Tabela 38, e o comparativo do consumo de energia entre os cenários consta da Figura 15.

Tabela 38 – Consumo de Energia por Fonte no Cenário BC+I

| Fontes de Energia | Consumo de energia (mil tep) |            |            |              |              |              |              |              |              |
|-------------------|------------------------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                   | 2010                         | 2015       | 2020       | 2025         | 2030         | 2035         | 2040         | 2045         | 2050         |
| Lenha             | 92                           | 53         | 56         | 61           | 65           | 69           | 71           | 74           | 74           |
| Gás natural       | 329                          | 215        | 252        | 303          | 357          | 411          | 466          | 520          | 558          |
| Diesel            | 3                            | 1          | 1          | 1            | 1            | 1            | 2            | 2            | 2            |
| Óleo combustível  | 64                           | 30         | 31         | 32           | 33           | 32           | 31           | 29           | 26           |
| GLP               | 10                           | 5          | 5          | 5            | 5            | 5            | 4            | 4            | 4            |
| Eletricidade      | 715                          | 598        | 613        | 645          | 662          | 666          | 659          | 641          | 600          |
| <b>TOTAL</b>      | <b>1.213</b>                 | <b>902</b> | <b>958</b> | <b>1.047</b> | <b>1.123</b> | <b>1.184</b> | <b>1.233</b> | <b>1.270</b> | <b>1.264</b> |

Fonte: Elaboração própria

A implementação das tecnologias de ruptura leva à redução, com relação ao cenário REF, de 26% no consumo de energia em 2050. As fontes preponderantes para a queda no consumo são a lenha, o GN e a eletricidade, sendo que os dois primeiros ocorrem no segmento de beneficiamento, e a eletricidade, em todos os segmentos e processos produtivos do setor.

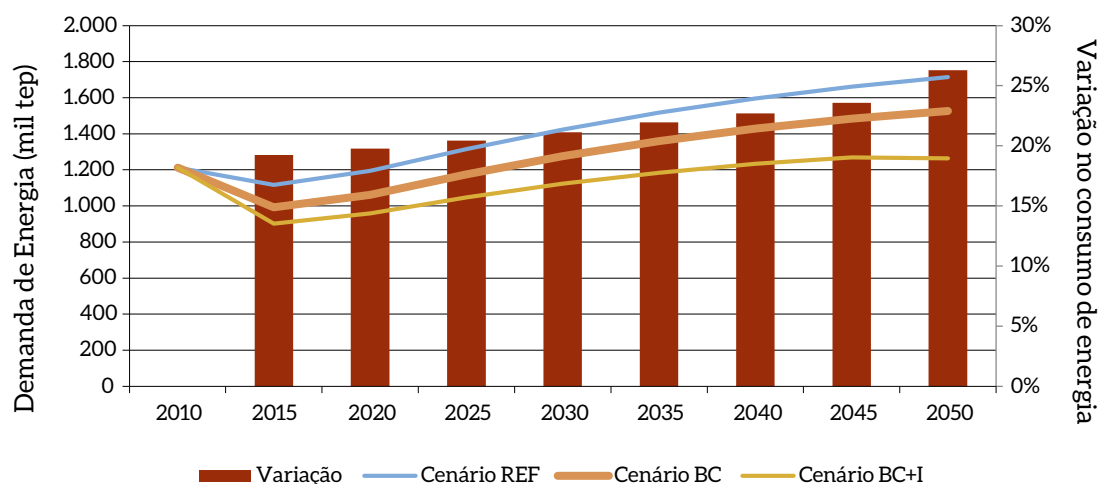


Figura 15 – Consumo de Energia e Variação entre os Cenários REF e BC+I

Fonte: Elaboração própria

É possível notar que a diferença de emissões entre os cenários BC e BC+I é bem significativa. Isso ocorre pelo fato de as penetrações das medidas inovadoras propiciarem, potencialmente, ganhos substancialmente maiores que medidas maduras e em estágio de comercialização. Cumpre enfatizar, todavia, que é comum a existência de “otimismo de bancada”, que, mediante a maturação das tecnologias, geralmente, acabar por revelar potenciais significativamente menores do que aqueles observados em laboratório.

As emissões totais, por combustíveis e em cada quinquênio, entre 2010 e 2050, são apresentadas na Tabela 39.

Tabela 39 – Emissões por Fonte de Energia no Cenário BC+I

| Fontes de Energia | Emissões de GEE (milhares de tCO <sub>2</sub> e) |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-------------------|--------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                   | 2010                                             | 2015         | 2020         | 2025         | 2030         | 2035         | 2040         | 2045         | 2050         |
| Gás natural       | 727                                              | 607          | 499          | 599          | 749          | 910          | 1.079        | 1.251        | 1.396        |
| Eletricidade      | 1.581                                            | 1.059        | 1.085        | 1.144        | 1.174        | 1.176        | 1.152        | 1.107        | 991          |
| Demais fontes     | 163                                              | 89           | 89           | 91           | 90           | 86           | 80           | 73           | 57           |
| <b>TOTAL</b>      | <b>2.471</b>                                     | <b>1.755</b> | <b>1.673</b> | <b>1.834</b> | <b>2.013</b> | <b>2.172</b> | <b>2.311</b> | <b>2.431</b> | <b>2.444</b> |

Fonte: Elaboração própria

Ainda que perante grande incerteza acerca da viabilização tecnológica, comercial e econômica, é importante destacar o potencial de redução de emissões das tecnologias inovadoras com relação ao cenário REF, qual seja, de 36% em 2050, perante 13% do cenário BC, que considera apenas atividades de baixo carbono maduras sob o ponto de vista tecnológico. É possível perceber que as emissões no cenário BC+I, em 2050, seriam inferiores às verificadas em 2010.

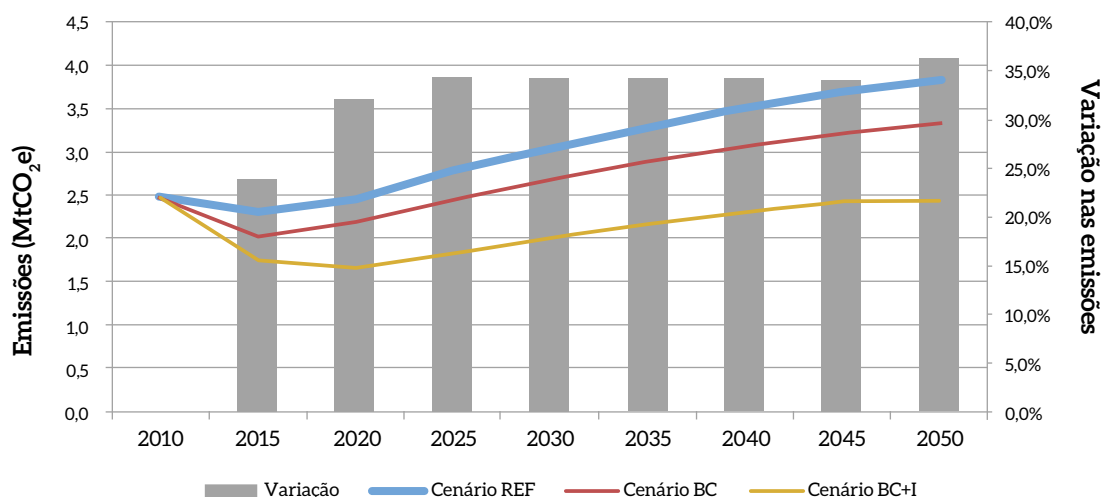


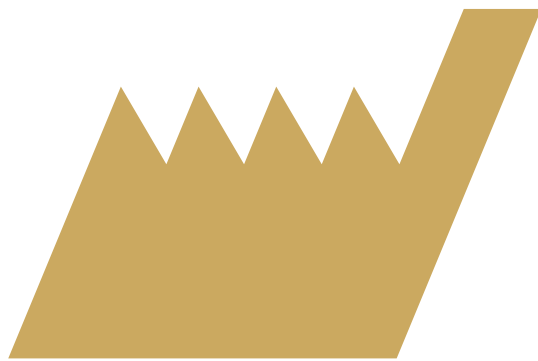
Figura 16 – Emissões Totais e Variação entre os Cenários REF e bc

Fonte: Elaboração própria

Entretanto, não devem ser desconsideradas as barreiras à adoção das tecnologias de ruptura, que são tecnológicas e econômicas, sobretudo. Também podem ser citados entraves de capacitação, como é o caso do uso de fibras sintéticas em substituição a fibras naturais, que requer a substituição de equipamentos já sedimentados e que, por isso, exigem mão de obra capacitada para operá-los.

No próximo capítulo, serão tratados de forma mais detalhada barreiras existentes para a entrada das tecnologias e seus cobenefícios, assim como instrumentos de política capazes de removê-las e potencializá-los, respectivamente.





# Instrumentos de política pública aplicáveis ao setor têxtil para adoção dos cenários de baixo carbono

Capítulo

**6**

## 6 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA APLICÁVEIS AO SETOR TÊXTIL PARA ADOÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO

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

A Tabela 40 resume os custos e potenciais de abatimento relativos ao setor têxtil. O potencial de mitigação de emissões de GEE acumulado no cenário BC é de aproximadamente 14,7 MtCO<sub>2</sub>e, em que a principal medida é a efficientização da combustão nas caldeiras. Os custos totais do cenário são de 187,3 e 425,2 milhões de dólares, com taxas de desconto de 8% e 18% ao ano, respectivamente. O potencial decorrente da implementação de tecnologias de ruptura, avaliadas no cenário BC+I, seria significativamente maior, qual seja, 24,2 MtCO<sub>2</sub>e com relação ao cenário REF.



Tabela 40 – Custos e Potenciais de Abatimento de Emissões dos Cenários BC e BC+I

| Medida                              |                                                                                | Potencial de Abatimento Acumulado (tCO <sub>2</sub> e) | Custo com Taxa de 18% a.a. (US\$/tCO <sub>2</sub> ) | Custo com Taxa de 8% a.a. (US\$/tCO <sub>2</sub> ) | Custo Total com Taxa de 18% a.a. (milhões US\$) | Custo Total com Taxa de 8% a.a. (milhões US\$) |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Cenário BC                          | Aumento da eficiência de combustão nas caldeiras                               | 8.145.663                                              | 13,2                                                | 5,7                                                | 107,5                                           | 46,4                                           |
|                                     | Substituição de combustíveis nas caldeiras (óleo combustível para gás natural) | 898.535                                                | 11,1                                                | 5,0                                                | 10,0                                            | 4,5                                            |
|                                     | Substituição de combustíveis nas caldeiras (GLP para gás natural)              | 105.352                                                | 59,0                                                | 25,7                                               | 6,2                                             | 2,7                                            |
|                                     | Automação de equipamentos elétricos e aplicação de motores de alto rendimento  | 2.854.634                                              | 39,1                                                | 17,6                                               | 111,6                                           | 50,2                                           |
|                                     | Eficientização dos sistemas de ar condicionado                                 | 2.594.027                                              | 72,3                                                | 32,2                                               | 187,5                                           | 83,5                                           |
|                                     | Aplicação de LED nos sistemas de iluminação                                    | 85.824                                                 | 26,6                                                | -1,3                                               | 2,3                                             | -0,1                                           |
|                                     | <b>Total do cenário BC</b>                                                     | <b>14.684.035</b>                                      | <b>-</b>                                            | <b>-</b>                                           | <b>425,2</b>                                    | <b>187,3</b>                                   |
| Cenário BC+I*                       | Novas fibras muito finas                                                       | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Tratamentos ultrassônicos                                                      | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Radiação por feixes de elétrons                                                | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Uso de ozônio para alvejamento                                                 | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Pré-tratamento avançado das fibras de algodão                                  | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Uso do CO <sub>2</sub> supercrítico                                            | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Tingimento eletroquímico                                                       | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Uso da tecnologia de plasma                                                    | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Uso de micro-ondas                                                             | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Novos produtos funcionais ou inteligentes                                      | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Processos avançados de tratamento de águas residuais                           | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Roupas refrigeradas                                                            | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Refletores de alta reflectância 95%                                            | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | Estanqueidade máxima (luminárias autolimpantes)                                | -                                                      | -                                                   | -                                                  | -                                               | -                                              |
|                                     | <b>Total do cenário BC+I</b>                                                   | <b>24.234.965</b>                                      | <b>-</b>                                            | <b>-</b>                                           | <b>-</b>                                        | <b>-</b>                                       |
| <b>Total dos cenários BC e BC+I</b> |                                                                                | <b>38.919.000</b>                                      | <b>-</b>                                            | <b>-</b>                                           | <b>425,2</b>                                    | <b>187,3</b>                                   |

\* Os potenciais de abatimento das medidas do cenário de BC+I foram agregados, e os custos de abatimento não foram mensurados em função da inexistência de parâmetros econômicos.

Fonte: Elaboração própria

Pode-se verificar que mesmo a trajetória com menor potencial de mitigação, qual seja, o cenário BC, apresenta relevante custo para implementação das medidas, o que indica barreiras econômicas a sua adoção. Algumas medidas também enfrentam barreiras regulatórias, informacionais 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 dos cenários de baixo carbono.

## 6.1 IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS BARREIRAS E DE COBENEFÍCIOS À ADOÇÃO DE MEDIDAS DE BAIXO CARBONO NO SETOR

Neste estudo, assim como em Bergh (2012), as barreiras são categorizadas em: econômicas e de mercado; regulatórias e institucionais; comportamentais e informacionais/culturais; e tecnológicas.

Conforme se pôde verificar no cenário BC, quase todas as medidas aplicáveis para mitigar emissões de GEE 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 do aumento da taxa de juros para a concessão de financiamentos. 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. Finalmente, a recessão afeta a renda das famílias e, conseqüentemente, a demanda por produtos têxteis, 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. Todavia, deve-se ressaltar que as ações de eficiência energética mapeadas neste estudo têm curtíssimo prazo de maturação, trazendo reduções imediatas na despesa relativa ao consumo de energia pelas atividades fabris. Ou seja, não trariam aumento de faturamento, porém teriam efeito semelhante em termos de lucro, mediante a redução das despesas operacionais.

Outra barreira econômica 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 dos motores de alto rendimento, os quais não se encontram disseminados no Brasil. E, no que tange especificamente às tecnologias inovadoras, a incerteza acerca da viabilidade comercial, bem como dificuldade de acesso a crédito para investimentos em P&D, são as principais barreiras.

Em termos mercadológicos, está presente a barreira à implementação da substituição de combustíveis nas caldeiras, inerente à falta de garantia de suprimento de gás natural.

No 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 que se refere às tecnologias inovadoras, existem barreiras referentes à adequação a padrões, normas e regulamentações e ao alto custo em pesquisa e desenvolvimento visando a implantação de um produto ou serviço inovador (BELTRAME et al., 2013). Outra barreira à inovação é o tempo médio de análise para concessão de patentes pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial (Inpi), que, na maioria dos casos, varia de 7 a 11 anos, enquanto em países da União Europeia, assim como China, Coreia do Sul, EUA e Japão o período médio é inferior a 3 anos (LICKS, 2017).

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.

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 das tecnologias mapeadas no cenário BC. 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. Este é o caso, por exemplo, da automação de processos. 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 aplicação de motores de alto rendimento, 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 têxtil, 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 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;
- Incentivo à difusão tecnológica;
- 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.

Ainda podem ser destacados efeitos sinérgicos relacionados à adoção de atividades de baixo carbono. Entre estes, o próprio desenvolvimento setorial pela difusão das tecnologias aplicadas, que podem implicar vantagens competitivas duradouras. A transição para atividades de baixo carbono, no setor têxtil, é capaz de aumentar a lucratividade empresarial e gerar desenvolvimento regional, permitindo que o setor possa proteger-se da penetração de importações. Além disso, a promoção do uso de fontes menos intensivas em carbono, tal qual a substituição de caldeiras a óleo combustível e GLP por gás natural, assim como a efficientização dos processos produtivos, implicam melhorias na saúde da população. Finalmente, a inserção das tecnologias de baixo carbono necessariamente deve vir acompanhada de atividades de capacitação da mão de obra, o que pode se traduzir em avanço em termos de Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), promovendo o desenvolvimento sustentável.

Deve-se enfatizar que os impactos relativos aos cobenefícios não puderam ser incorporados, por restrições metodológicas, à mensuração dos custos de abatimento. Tal aspecto aumenta a incerteza relativa ao potencial econômico de abatimento de emissões de GEE do setor têxtil. Todavia, não invalida a discussão qualitativa, que deve ser considerada para subsidiar a formulação de propostas de instrumentos de políticas públicas para implementar cenários de baixo carbono no setor têxtil. Essa discussão será precedida por uma síntese de experiências internacionais e nacionais com políticas públicas de baixo carbono.

## 6.2 SÍNTESE DAS 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 efficientização 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 17, 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 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 atividades de carbono pelo setor têxtil, é necessário avançar na proposição de instrumentos econômico-financeiros e regulatórios para viabilizar a transição dessas atividades para uma economia de baixo carbono.

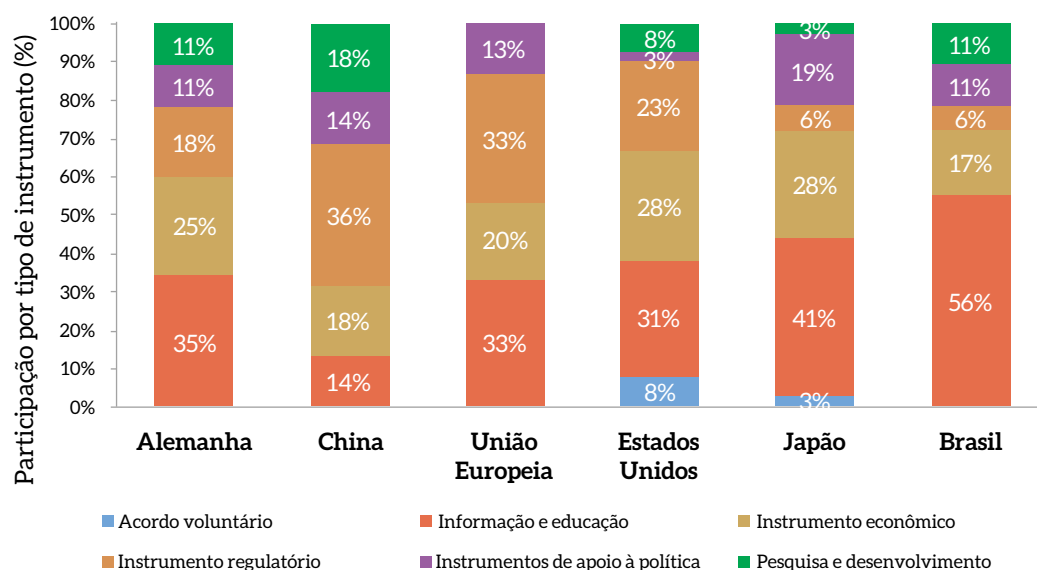


Figura 17 – Instrumentos Utilizados por Países para Promover a Eficiência Energética na Indústria

Fonte: 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 CO<sub>2</sub>, 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, ou Plano Indústria (FGV/EAESP, 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 (CTPIn), composta por representantes do governo, sociedade civil, meio acadêmico, com responsabilidade de detalhar, monitorar e revisar ações do plano (FGV/EAESP, 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 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.

## 6.3 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA ADOÇÃO DAS ATIVIDADES DE BAIXO CARBONO NO SETOR TÊXTIL

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 dos cenários de baixo carbono no setor têxtil. 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.

### 6.3.1 INSTRUMENTOS ECONÔMICOS E DE MERCADO

A disponibilização de crédito e subvenções econômica está associada às políticas fiscal e monetária, que são instrumentos utilizados para o controle da inflação. O montante de recursos necessários para implementação do cenário BC, qual seja, de US\$ 425 milhões, também ressalta que o incentivo à transição para uma economia de baixo carbono no setor deve ser menos dependente dos mecanismos econômicos de políticas públicas tradicionais.

Por esses motivos, seria desejável a captação de recursos adicionais aos disponibilizados pelo Fundo Clima para ações de mitigação de emissões de GEE. 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), entre outros. Mais que isso, os portfólios de crédito das instituições financeiras devem ser diversificados para pequenas, médias e grandes empresas, visando estabelecer igualdade na aquisição de financiamentos. Sobretudo, no caso das tecnologias inovadoras, o estabelecimento de precificação de carbono poderia servir de incentivo para antecipar P&D, o que permitiria maturação mais rápida das tecnologias em nível nacional.

A linha de financiamento do Finem – Eficiência Energética do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), com recursos do Fundo Clima, GCF e BID, poderia custear, com taxas subsidiadas de juros, a aquisição de equipamentos de baixo carbono. Em virtude do patamar de recursos necessário para adoção das medidas, poderia ser criada, pelo BNDES, a linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”, com portfólios subdivididos por porte de empresa. E, finalmente, a partir de 2025, a precificação de carbono poderia servir de incentivo à viabilização das atividades com custo marginal de abatimento positivo e, sobretudo, tecnologias de ruptura.

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

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. Para tornar o instrumento eficiente, o MF poderia prever, com atribuições para o MDIC, que a desoneração fosse acompanhada de contrapartidas tecnológicas e sociais, quais sejam: o estabelecimento de metas de efficientização 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.

No caso da barreira associada à falta de garantia de suprimento de gás natural, é necessária a elaboração de contratos e seguros de fornecimento. Além disso, é necessária a ampliação da rede de gasodutos, visando ofertar a fonte de energia a polos têxteis localizados, em particular, no interior dos estados do Ceará, Minas Gerais e Paraná. A elaboração de seguros e contratos de fornecimento, que exige a mobilização da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT) e empresas do setor têxtil, está condicionada ao suprimento de gás natural, a qual exige a mobilização do Ministério de Minas e Energia (MME), e empresas do setor energético. Compreende-se que a implementação das ações poderia iniciar em 2018, por meio de ações de capacitação na elaboração de contratos e seguros de fornecimento de gás natural, em particular para pequenas e médias empresas do setor.

### 6.3.2 INSTRUMENTOS REGULATÓRIOS E INSTITUCIONAIS

Inicialmente, instrumentos deste tipo objetivariam 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 ABIT, MDIC e MCTIC para a realização das atividades.

Um instrumento que promoveria, transversalmente, a adoção de atividades de baixo carbono no setor seria sua inclusão no Plano Indústria, ou aquele que vier a sucedê-lo tendo em vista a estratégia de implementação da NDC brasileira. Seria uma medida simples, a qual poderia ser implementada no curto prazo pelo MDIC.

Com vistas a promover uma cultura organizacional voltada para ações de efficientização energética, poderiam ser implementados mecanismos de auditoria energética e elaboração de inventários de emissões 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 e Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), com suporte da ABIT. Adicionalmente, é importante a criação de instrumento voltado à substituição de equipamento no final da vida útil. Nesse 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, de associações representativas dos setores industriais e do BNDES. Os dois instrumentos poderiam ser implementados a partir de 2020.

Também é necessário estabelecer padrões máximos (metas) de emissões por unidades industriais e/ou combustíveis. A verificação das emissões poderia ocorrer junto ao Sistema de Registro Nacional de Emissões (Sirene), que utilizaria informações relativas aos potenciais de mitigação do setor têxtil mapeados neste estudo. Assim, seria possível acompanhar, anualmente, o nível de implementação das tecnologias de mitigação propostas para os cenários BC e BC+I.

Os instrumentos regulatórios anteriormente mencionados poderiam ser pré-requisito para obtenção do Selo de Eficiência Energética Industrial, o qual seria critério para acesso a condições privilegiadas de crédito junto a bancos públicos de fomento. A política poderia ser aplicada a partir de 2020, e seria liderada por MDIC, MME e bancos públicos de fomento.

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

### 6.3.3 INSTRUMENTOS COMPORTAMENTAIS E INFORMACIONAIS

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

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

Todas as atividades mencionadas poderiam ser implementadas a partir de 2018.

### 6.3.4 INSTRUMENTOS TECNOLÓGICOS

A aplicação de instrumentos de políticas públicas voltados para a remoção de barreiras tecnológicas, em particular, deve estar voltada para acelerar a penetração de tecnologias de baixo carbono

ainda não maduras no mercado. Nesse sentido, destacam-se as medidas mapeadas para o cenário BC+I, e é reforçado o papel do MDIC e do MCTIC como agentes indutores da inovação. Nesse caso, deve ser fomentada a P&D voltada para tecnologias de ruptura, sendo o lançamento de editais para o financiamento de projetos específicos de baixo carbono, junto à Financiadora de Estudo e Projetos (Finep), um instrumento relevante para o setor têxtil. Ademais, a oferta de estudos conjunturais, estratégicos e tecnológicos para diferentes setores da indústria, voltada para o desenvolvimento sustentável do setor, pela ABDI, deve ser incentivada.

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

Finalmente, no que se refere ao fomento ao desenvolvimento de tecnologias de eficiência energética com maior conteúdo local, poderia ser retomado o Plano Brasil Maior, que estabeleceu a política industrial, tecnológica, de serviços e de comércio exterior para o período de 2011 a 2014. O plano poderia ser estendido e direcionado ao fomento de segmentos industriais que objetivariam o desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono mapeadas neste estudo, em nível nacional. Para tanto, poderia utilizar recursos provenientes de mecanismos econômicos previstos para o cumprimento de metas de redução de emissões de GEE que serão mandatórias no país, a partir de 2020. Por exemplo, caso seja adotada a precificação de carbono enquanto mecanismo de flexibilização ao cumprimento de metas, parte dos recursos provenientes dela deveriam ser direcionados para o referido plano. Por sua vez, a destinação dos recursos, para o fomento da pesquisa, desenvolvimento e aplicação das tecnologias, entre os diferentes segmentos industriais, seria definida pelo seu comitê gestor, composto por Casa Civil, MDIC, MCTI, MF e MP.

## 6.4 SÍNTESE DOS INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PROPOSTOS

A seguir, são sintetizados os instrumentos de políticas públicas propostos para a implementação dos cenários de baixo carbono. O Quadro 10 objetiva consolidar a proposta de instrumentos que deveriam ser aprimorados e/ou implementados, com vistas a remover as barreiras associadas à transição do setor para uma economia de baixo carbono. É importante destacar que esses mecanismos são complementares e mutuamente dependentes, o que leva à conclusão de que seu sucesso depende da mobilização de inúmeros atores públicos e privados.

**Quadro 10 – Quadro-Resumo de Medidas, Barreiras e Instrumentos de Política Pública para Adoção dos Cenários de Baixo Carbono**

| Medidas                                                                             | Barreiras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Instrumentos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aumento da eficiência de combustão nas caldeiras                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de viabilidade econômica;</li> <li>• Assimetria, falta e altos custos de acesso ao crédito;</li> <li>• Conjuntura econômica;</li> <li>• Competição com outros investimentos;</li> <li>• Dificuldade na elaboração de projetos;</li> <li>• Ausência de limite de emissões e <i>benchmark</i> de tecnologias para o setor;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre as vantagens da eficiência energética;</li> <li>• Resistência à substituição de equipamentos por aversão a mudança, risco de desemprego e complexidade operacional;</li> <li>• Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias;</li> <li>• Restrição à instalação pelo <i>layout</i> da planta.</li> </ul>                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”;</li> <li>• Captação de recursos para investimento em ações de mitigação no GCF, GEF e BID;</li> <li>• Diversificação das linhas de crédito para atender pequenas, médias e grandes empresas;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE;</li> <li>• Criação, por meio de parcerias público-privadas, de atividades de capacitação na elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica para acesso a crédito;</li> <li>• Inclusão do setor têxtil no Plano Indústria, ou naquele plano que vier a sucedê-lo;</li> <li>• Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Criação de um programa de depreciação obrigatória de fornos;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e inventários de emissões com pré-requisito para acesso a crédito em bancos públicos de fomento;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas industriais;</li> <li>• 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;</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética;</li> <li>• Retomada do Plano Brasil Maior, visando ao direcionamento para o fomento de tecnologias industriais de baixo carbono;</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono.</li> </ul>                                                     |
| Substituição de combustíveis nas caldeiras (óleo combustível e GLP por gás natural) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de garantia de suprimento de gás natural;</li> <li>• Dificuldade na elaboração de projetos;</li> <li>• Ausência de limite de emissões e <i>benchmark</i> de tecnologias para o setor;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre as vantagens da eficiência energética.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e inventário de emissões;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Elaboração de contratos e seguros de fornecimento de gás natural;</li> <li>• Criação de ações de capacitação na elaboração de contratos e seguros de fornecimento de gás natural;</li> <li>• Ampliação da rede de gasodutos, em particular nos estados do Ceará, Minas Gerais e Paraná;</li> <li>• Inclusão do setor têxtil no Plano Indústria, ou naquele plano que vier a sucedê-lo;</li> <li>• Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas industriais;</li> <li>• 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;</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Automação de equipamentos elétricos e aplicação de motores de alto rendimento       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de viabilidade econômica;</li> <li>• Assimetria, falta e altos custos de acesso ao crédito;</li> <li>• Conjuntura econômica;</li> <li>• Competição com outros investimentos;</li> <li>• Custos da importação;</li> <li>• Dificuldade na elaboração de projetos;</li> <li>• Ausência de limite de emissões e <i>benchmark</i> de tecnologias para o setor;</li> <li>• Falta de conhecimento sobre as vantagens da eficiência energética;</li> <li>• Resistência à substituição de equipamentos por aversão a mudança, risco de desemprego e complexidade operacional;</li> <li>• Alta complexidade associada a instalação, manutenção e monitoramento dos motores e sistemas de automação;</li> <li>• Restrição à instalação pelo <i>layout</i> da planta.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inclusão do setor têxtil no Plano Indústria, ou naquele plano que vier a sucedê-lo;</li> <li>• Desoneração de importações de tecnologias de baixo carbono;</li> <li>• Criação da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”;</li> <li>• Precificação de carbono a partir de 2025;</li> <li>• Captação de recursos para investimento em ações de mitigação no GCF, GEF e BID;</li> <li>• Diversificação das linhas de crédito para atender pequenas, médias e grandes empresas;</li> <li>• Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE;</li> <li>• Criação, por meio de parcerias público-privadas, de atividades de capacitação na elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica para acesso a crédito;</li> <li>• Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial;</li> <li>• Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e inventários de emissões com pré-requisito para acesso a crédito em bancos públicos de fomento;</li> <li>• Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>• Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas industriais;</li> <li>• 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;</li> <li>• Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética;</li> <li>• Retomada do Plano Brasil Maior, visando ao direcionamento para o fomento de tecnologias industriais de baixo carbono;</li> <li>• Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono.</li> </ul> |

| Medidas                                        | Barreiras                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Instrumentos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eficientização dos sistemas de ar condicionado | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ausência de viabilidade econômica;</li> <li>Assimetria, falta e altos custos de acesso ao crédito;</li> <li>Competição com outros investimentos;</li> <li>Dificuldade na elaboração de projetos;</li> <li>Ausência de limite de emissões e <i>benchmark</i> de tecnologias para o setor;</li> <li>Falta de conhecimento sobre as vantagens da efficientização energética.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Inclusão do setor têxtil no Plano Indústria, ou naquele plano que vier a sucedê-lo;</li> <li>Criação da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”;</li> <li>Diversificação das linhas de crédito para atender pequenas, médias e grandes empresas;</li> <li>Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE;</li> <li>Criação, por meio de parcerias público-privadas, de atividades de capacitação na elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica para acesso a crédito;</li> <li>Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial;</li> <li>Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e inventários de emissões com pré-requisito para acesso a crédito em bancos públicos de fomento;</li> <li>Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas industriais;</li> <li>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;</li> <li>Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética;</li> <li>Retomada do Plano Brasil Maior, visando ao direcionamento para o fomento de tecnologias industriais de baixo carbono;</li> <li>Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono.</li> </ul> |
| Aplicação de LED nos sistemas de iluminação    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dificuldade na elaboração de projetos;</li> <li>Ausência de limite de emissões e <i>benchmark</i> de tecnologias para o setor;</li> <li>Falta de conhecimento sobre as vantagens da efficientização energética.</li> </ul>                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial;</li> <li>Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e inventário de emissões;</li> <li>Inclusão do setor têxtil no Plano Indústria, ou naquele plano que vier a sucedê-lo;</li> <li>Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas industriais;</li> <li>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;</li> <li>Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Tecnologias de ruptura do cenário BC+I         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Incerteza acerca da viabilidade comercial,</li> <li>Dificuldade de acesso a crédito para investimentos em P&amp;D;</li> <li>Falta de capacidade financeira para custear P&amp;D;</li> <li>Falta de adequação aos padrões, normas e regulamentações;</li> <li>Elevado tempo de análise para concessão de patentes.</li> </ul>                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Inclusão do setor têxtil no Plano Indústria, ou naquele plano que vier a sucedê-lo;</li> <li>Desoneração de importações de componentes de tecnologias inovadoras de baixo carbono;</li> <li>Captação de recursos para investimento em ações de mitigação no GCF, GEF e BID;</li> <li>Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial;</li> <li>Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis;</li> <li>Definição de <i>benchmark</i> para novas plantas industriais;</li> <li>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;</li> <li>Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que atinjam <i>benchmark</i> de eficiência energética;</li> <li>Ampliação do Plano Brasil Maior, visando ao direcionamento para o fomento de tecnologias industriais de baixo carbono;</li> <li>Contratação de servidores e aprimoramento do sistema e-Patentes para diminuir o tempo médio de análise de patentes pelo Inpi;</li> <li>Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de projetos de pesquisa, desenvolvimento e demonstração das tecnologias inovadoras de baixo carbono.</li> <li>Precificação do carbono a partir de 2025.</li> </ul>                                                                                                                                                                               |

Fonte: Elaboração própria



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. A thin, horizontal gold line extends from the right edge of the main gold shape. In the bottom right corner, there is a light beige parallelogram shape.

Considerações  
finais

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo objetivou identificar possibilidades de mitigação de emissões para o setor têxtil, baseadas em tecnologias disponíveis comercialmente (cenário BC) e de ruptura (cenário BC+I). Adicionalmente, foram avaliados barreiras, cobenefícios e potenciais instrumentos de política pública capazes de viabilizar a adoção dos cenários de baixo carbono.

Considerando os resultados obtidos, nota-se que o setor apresenta significativo potencial para abatimento de emissões de GEE. O potencial nos cenários BC e BC+I, com relação ao cenário em 2050, é de 13% e 36%, respectivamente. O potencial de abatimento de emissões de GEE acumulado até 2050, no cenário BC, é de aproximadamente 14,7 MtCO<sub>2</sub>e com relação ao cenário REF, sendo a principal medida a efficientização da combustão nas caldeiras. Os custos totais do cenário são de 187,3 e 425,2 milhões de dólares, com taxas de desconto de 8% e 18% ao ano, respectivamente. O potencial de mitigação acumulado decorrente da implementação de tecnologias de ruptura, avaliadas no cenário BC+I, seria significativamente maior, qual seja, 24,2 MtCO<sub>2</sub>e.

As principais barreiras ao aumento da eficiência de combustão nas caldeiras são a ausência de viabilidade econômica, a ausência de padrão de emissões para o setor e a falta de conhecimento acerca das vantagens da adoção da medida. Para removê-las, potencializando os cobenefícios associados, é fundamental a implementação dos seguintes instrumentos de política pública: i) criação da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”; ii) desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE; iii) criação de Selo de Eficiência Energética Industrial; iv) criação de um programa de depreciação obrigatória de fornos; v) estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; vi) promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética. Idealmente, esses instrumentos poderiam estar abrangidos mediante a inclusão do setor têxtil no Plano Indústria, ou naquela política pública que vier a sucedê-lo.

No caso das tecnologias de rupturas avaliadas no cenário BC+I, os principais entraves são: incerteza acerca da viabilidade comercial; dificuldade de acesso a crédito para investimentos em P&D; e elevado tempo de análise para concessão de patentes. Para maturação dessas tecnologias em âmbito nacional, é fundamental a formulação dos seguintes instrumentos: i) desoneração de importações de componentes de tecnologias inovadoras de baixo carbono; ii) financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de projetos de pesquisa, desenvolvimento e demonstração das tecnologias inovadoras de baixo carbono; iii) precificação do carbono a partir de 2025; iv) ampliação do quadro de funcionários e aprimoramento do sistema e-Patentes do Inpi.



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 têxtil. Este é apenas o total da redução de cada medida aplicada em relação ao cenário REF. Dessa forma, pode, e está ocorrendo, dupla contagem de redução de emissões, visto que a redução do consumo energético de duas medidas não é necessariamente igual à soma de suas contribuições individuais. Essa característica das curvas de abatimento convencionais e setoriais mostra a necessidade de uma modelagem integrada para a eliminação da dupla contagem e para representar de forma fidedigna o potencial de mitigação do setor.

Outra limitação resulta das projeções econômicas consideradas na construção dos cenários. Para tratar essa questão, tendo em vista a transversalidade e a relevância das variáveis macroeconômicas para os cenários setoriais de emissões, será considerada uma segunda visão de crescimento setorial do PIB no âmbito da modelagem integrada, a qual considerará os efeitos de curto e médio prazo do recente contexto econômico nacional. Esta tem resultados reportados no documento *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 sawtooth-like top 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

- ABDOU, L. A. W et al. Comparative study between the efficiency of electron beam and gamma irradiation for treatment of dye solutions, *Chemical Engineering Journal*, v.168, n. 2, p.752-758, 2011.
- ALVES, J. S.; PALOMBO, C. R. *Prevenção à poluição: manual para a implementação do programa*. São Paulo: CETESB, 1995.
- ANDREAUS, J. et al. Aplicação de ciclodextrinas em processos têxteis. *Química Nova*, v.33, n.4, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL – ABIT (Brasil). *BNDES: A cadeia têxtil e de confecções – uma visão de futuro*. Apresentação realizada no BNDES, Rio de Janeiro, 2008.
- \_\_\_\_\_. *O poder da moda*. Cenários, desafios e perspectivas. Agenda de Competitividade da Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira 2015 a 2018. São Paulo: ABIT, 2015.
- \_\_\_\_\_. *O setor têxtil e de confecção pós-Doha*. Brasília, agosto de 2008(a). Disponível em: <[http://www.abit.org.br/apresentacao\\_brasilia/brasilia\\_area\\_internacional.ppt#](http://www.abit.org.br/apresentacao_brasilia/brasilia_area_internacional.ppt#)>. Acesso em: 14 maio 2014.
- BECHTOLD, T.; TURCANU, A. Electrochemical reduction in vat dyeing: greener chemistry replaces traditional processes. *Journal of Cleaner Production*, v.17, p.1669–1679, 2009.
- BELTRAME, T. F. et al. Gestão da inovação e barreiras para implantação de suas práticas. XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Salvador: Brasil, 8 a 11 de outubro de 2013.
- BERGH, C. *Energy Efficiency in the South African crude oil refining industry: Drivers, barriers and opportunities* (MSc Sustainable Energy Engineering). University of Cape Town, South Africa. 2012. Disponível em: <[http://www.crses.sun.ac.za/files/research/completed-research/other/thesis\\_bergh\\_energyefficiency.pdf](http://www.crses.sun.ac.za/files/research/completed-research/other/thesis_bergh_energyefficiency.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2012.
- BHAT, N. V. et al. Microwave radiations for heat-setting of polyester fibers. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, v.4, p.1-6, 2009.
- BHAT, N. V.; KALE, M. J. Interaction of microwave radiation with polyester yarn to enhance its textile properties. *Fibers Polymers*, v.13, p.936–942, 2012.
- BITTENCOURT, E. *Considerações sobre o estágio atual da nanotecnologia no setor têxtil*. In: Seminário de Nanotecnologia, Abit, São Paulo, 9 jan. 2010. Disponível em: <[http://www.abit.org.br/site/noticia\\_detalhe.asp?controle=2&tipo=2&id\\_menu=20&idioma=PT&id\\_noticia=2928&#ancora](http://www.abit.org.br/site/noticia_detalhe.asp?controle=2&tipo=2&id_menu=20&idioma=PT&id_noticia=2928&#ancora)>. Acesso em: 21 ago. 2015.
- BORBA, B. S. M. C. et al. Energy-related climate change mitigation in Brazil: Potential, abatement costs and associated policies. *Energy Policy*, v. 49, p. 460-441, 2012.

BRASIL. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. *Panorama setorial – têxtil e confecção*. Série Cadernos da Indústria ABDI, v. V. Brasília: ABDI, 2008.

\_\_\_\_\_. *Estudo prospectivo setorial: têxtil e confecção*. Brasília: ABDI, 2010.

\_\_\_\_\_. *Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para economia de baixo carbono*. Brasília: ABDI, 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. *BIG – Banco de Informações de Geração* 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/UsinaListaSelecao.asp>>. Acesso em: 18 jul. 2015.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. *Resolução RDC nº 161*, de 23 de junho de 2004. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=25820&word=>>>. Acesso em: 22 fev. 2009.

BRASIL. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e social – BNDES. *Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecções e a questão da inovação*. Ana Cristina Rodrigues da Costa e Érico Rial Pinto da Rocha. 2009. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2905.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2905.pdf)>. Acesso em: 22 jan. 2015.

BRASIL. Empresa Brasil de Comunicação – EBC. *Entrevista com Rafael Cervone* – presidente da Associação Brasileira da Indústria Têxtil (Abit). 2015. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2015-01/industria-textil-preve-retomada-de-crescimento-so-em-2016>>. Acesso em: 2 jun. 2015.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. *Balanço Energético Nacional 2014: Ano-base 2013*. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

\_\_\_\_\_. *Balanço Energético Nacional 2017: Ano-base 2016*. Brasília: EPE, 2017.

\_\_\_\_\_. *Mapa da infraestrutura de gasodutos de transporte de gás natural no Brasil*. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Petroleo/Paginas/EPEpublicaMapadaInfraestruturadeGasodutosdeTransportedeG%C3%A1sNaturalnoBrasil.aspx>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Pesquisa de inovação tecnológica*. 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pintec/2005/pintec2005.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

BRASIL. Instituto Nacional de Tecnologia – INT. *Informativo INT*. Publicação quadrimestral. Uso da Energia no Setor Têxtil do Estado do Rio de Janeiro. Maio/Agosto 1987.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. *Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal*, Parte 2. 2010. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0214/214061.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0214/214061.pdf)>. Acesso em: 22 ago. 2015.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI. *Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil*. 2012. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/72764.html>>. Acesso em: 5 mar. 2012.

\_\_\_\_\_. *Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> 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.

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

\_\_\_\_\_. *Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima*. 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](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 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](http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2010.

BÜYÜKAKINCI, B.Y. Usage of microwave energy in Turkish textile production sector. *Energy Procedia*, v.14, p.424-431, 2012.

CANADIAN INDUSTRY PROGRAM FOR ENERGY CONSERVATION – CIPEC. *Benchmarking and best practices in Canadian wet-processing*. 2007. Disponível em: <<http://oeo.nrcan.gc.ca/industrial/technical-info/benchmarking/ctwp/index.cfm>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

COLORZEN. *ColorZen: how it works/the benefits*. 2012. Disponível em: <<http://www.colorzen.com/>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI (Brasil). *A indústria do aço no Brasil – Encontro da indústria para a sustentabilidade*. Brasília: CNI, 2012.

\_\_\_\_\_. *Novas tecnologias para processos industriais: Eficiência energética na indústria*. 2009. Disponível em: <[http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo\\_24/2012/09/05/220/20121126132514523849i.pdf](http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/05/220/20121126132514523849i.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2015.

\_\_\_\_\_. *Oportunidades de eficiência energética para a indústria: Setor têxtil*. Brasília: CNI, 2010.

COSTA, A. C. R. et al. Inovação nos setores de baixa e média tecnologia. *BNDES Setorial*, n.33, p. 379-420, 2011.

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.

DAS, D. et al. Electrochemical dyeing of vat dyes. *Textile Asia*, v. 43, n.7, p. 29-31, 2012.

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

EADIE, L.; GHOSH, K.T. Biomimicry in textiles: past, present and potential. An overview. *Journal of the Royal Society Interface*, v.8, n. 59, p. 761-775, 2011.

ENERGY CONSERVATION CENTER OF JAPAN – ECCJ. *Overview of energy saving technologies in textile industry*. 2007. Disponível em: <[http://www.aseanenergy.org/download/projects/promeeec/2007-2008/industry/eccj/ECCJ\\_SW03%20Overview%20of%20energy%20saving%20technology\\_TH.pdf](http://www.aseanenergy.org/download/projects/promeeec/2007-2008/industry/eccj/ECCJ_SW03%20Overview%20of%20energy%20saving%20technology_TH.pdf)>. Acesso em: 21 ago. 2015.

EREN, H.A.; OZTURK, D. The evaluation of ozonation as an environmentally friendly alternative for cotton preparation. *Textile Research Journal*, v.81, n.5, p.512-519, 2011.

EUROPEAN INTEGRATED POLLUTION PREVENTION AND CONTROL BUREAU – EIPPCB. *Reference document on best available techniques for the textiles industry*. 2003. Disponível em: <<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

FOUDA, M. M. G. et al. Microwave curing for producing cotton fabrics with easy care and anti-bacterial properties. *Carbohydrate Polymers*, v.77, p.651-655, 2009.

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.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS – FIPE. *Projeções macrossetoriais para o Brasil: 2011-2015*. Projeto Opções de Mitigação de Emissões de GEE em Setores-Chave do Brasil. Subprojeto econômico. Coordenação: Eduardo Haddad. São Paulo: Fipe/USP, 2015.

GALLEGO-JUAREZ, J. High-power ultrasonic processing: recent developments and prospective advances. *Physics Procedia*, v.3, n.1, p.35-47, 2010.

GOTOH, K.; HARAYAMA, K. Application of ultrasound to textiles washing in aqueous solutions. *Ultrason Sonochem*, v.20, n.2, p.747-53, 2013.

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/USP, 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](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. 2015.

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.

HAN, S. O.; CHOI, H. Y. Morphology and surface properties of natural fiber treated with electron beam. *Microscopy: Science, Technology, Applications and Education*, v.3, p. 1880-1887, 2010.

HASANBEIGI, A.; PRICE, L. A technical review of emerging technologies for energy and water efficiency and pollution reduction in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 95, p. 30-44. 2015.

HASHEM, M. et al. New prospects in pretreatment of cotton fabrics using microwave heating. *Carbohydrate Polymers*, v.103, p.385–391, 2014.

HAUSER, P. Advances and trends in textile wet processing chemicals. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, v.5, n.1, p.23-27, 2006.

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.

HUTTEN, I. M. *Handbook of nonwoven filter media*. Cambridge, UK: Elsevier, 2007.

IBRAHIM, D. F. Clean trends in textile wet processing. *Journal of Textile Science and Engineering*, v.2, n.5, p.2-5, 2012.

INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL – IEMI. *Estudo do mercado de fios têxteis no Brasil*. São Paulo: IEMI, 2007.

\_\_\_\_\_. *Estudo do mercado potencial para tecidos índigo, sarjas etelas de algodão no Brasil*. São Paulo: IEMI, ago. 2007b.

\_\_\_\_\_. *Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira*, São Paulo, v. 7, n. 7, ago. 2007c.

\_\_\_\_\_. *Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira*, São Paulo, v. 8, n. 8, ago. 2008d.

\_\_\_\_\_. *Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira*. São Paulo, 2013.

\_\_\_\_\_. *Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira*. São Paulo, 2014.

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

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. *Energy Technology Perspectives 2014: Harnessing Electricity's Potential*. Paris: IEA, 2014.

\_\_\_\_\_. *Policies and Measures Database – Energy Efficiency*. 2015. Disponível em: <<http://www.iea.org/policiesandmeasures/energyefficiency/>>. Acesso em: 26 out. 2016.

ISLAM, S.; MOHAMMAD, F. Emerging green technologies and environment friendly products for sustainable textiles. Chapter 3. In: Muthu, S.S. (ed.) *Roadmap to sustainable textiles and clothing*. Singapore: Springer, 2014.

KAN, C. W.; YUEN, C. W. M. Plasma technology in wool. *Textile Progress*, v.39, n.3, p. 121-187, 2007.

KATOVIC, D. *Microwaves solution for improving woven fabric*. 2010. Disponível em: <<http://cdn.intechweb.org/pdfs/12252.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

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.



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

LONG, H. E. et al. A novel plant for fabric rope dyeing in supercritical carbon dioxide and its cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, v. 65, p. 574-582, 2014.

LONJASBRASIL. *Apresentação técnica em PPT*. 2014. Disponível em: <[http://www.cogenrio.com.br/Prod/arquivos/5-%20Um%20exemplo%20exitoso%20no%20segmento%20textil%20\(Lonjas%20Brasil%20-%20Julio%20Cesar\).ppt](http://www.cogenrio.com.br/Prod/arquivos/5-%20Um%20exemplo%20exitoso%20no%20segmento%20textil%20(Lonjas%20Brasil%20-%20Julio%20Cesar).ppt)>. Acesso em: 13 maio 2015.

MUTHU, S. S. *Roadmap to sustainable textiles and clothing*. Singapore: Springer, 2014.

NANOVAL GMBH. *The process: filaments + nonwovens*. 2015. Disponível em: <[http://www.nanoval.de/main\\_eng.htm](http://www.nanoval.de/main_eng.htm)>. Acesso em: 21 ago. 2015.

NONWOVENS INDUSTRY. *The Nanoval process: best for finefiber spunbonds*. 2006. Disponível em: <[http://www.nonwovens-industry.com/issues/2006-02/view\\_breaking-news/the-nanoval-process](http://www.nonwovens-industry.com/issues/2006-02/view_breaking-news/the-nanoval-process)>. Acesso em: 21 ago. 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – UNIDO. *Policy options to overcome barriers to industrial efficiency in developing countries*. Viena: Unido, 2011.

OZONE BLEACH ASSOCIATION. *How positive is ozone bleach for the environment*. 2015. Disponível em: <[http://www.ozone-bleach.com/en/ozone-bleach/how\\_positive\\_is.htm](http://www.ozone-bleach.com/en/ozone-bleach/how_positive_is.htm)>. Acesso em: 21 ago. 2015.

PERINCEK, S. D. et al. An investigation in the use of ozone gas in the bleaching of cotton fabrics. *Ozone: Science & Engineering*, v.29, n.5, p.325-333. 2007.

RATHMANN, R. *Impactos da adoção de metas de redução de emissão de gases de efeito estufa sobre a competitividade de setores industriais energointensivos do Brasil*. 2012. 394 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, 2012.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. *Guia técnico ambiental da indústria têxtil*. Elaboração Elza Y. Onishi Bastian, Jorge Luiz Silva Rocco; colaboração Eduardo San Martin. São Paulo. 2009. Disponível em: <[http://www.sinditextilsp.org.br/guia\\_p%20Bl.pdf](http://www.sinditextilsp.org.br/guia_p%20Bl.pdf)>. Acesso em: 16 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. *Manual para implementação de um programa de prevenção à poluição*. 4.ed. São Paulo. 2002. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao\\_limpa/documentos/manual\\_im-plem.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/manual_im-plem.pdf)>. Acesso em: 2 jan. 2015.

SCHAEFFER, R. et al. *Cenário integrado de baixo carbono*. Subprojeto de modelagem integrada. Projeto Opções de Mitigação de Emissões de GEE em Setores-Chave do Brasil. MCTI: 2015.

\_\_\_\_\_. *Relatório síntese para projeto para o Banco Mundial – Cenário de Baixa Emissão de Carbono no Brasil*. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2009.

SCHÖNBERGER, H.; SCHÄFER, T. *Best available techniques in textile industry*. 2003. Environmental Research of the Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.

Research Report 200 94 329 UBA-FB 000325/e. Disponível em: <<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2274.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

SCHWOB, M. R. V. *Perspectivas de difusão do gás natural na indústria brasileira de cerâmica vermelha*. 2007. 370 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Planejamento Energético) – Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SINCLAIR, R. *Yarn to fabric: intelligent textiles*. Chapter 15. In: *Textiles and fashion: materials, design and technology*. 1st. ed. Cambridge, UK. Elsevier, 2014b.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE FIAÇÃO E TECELAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – SINDITÊXTIL. *Matérias*. 2015. Disponível em: <<http://www.sinditextilsp.org.br/index.php/materias>>. Acesso em: 2 jun. 2015.

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

TEXTILE WORLD. *ColorZen offers water-, energy-, chemical- and time-saving cotton dyeing technology*. 2012. Disponível em: <[http://www.textileworld.com/Articles/2012/August/Textile\\_News/](http://www.textileworld.com/Articles/2012/August/Textile_News/)>. Acesso em: 21 ago. 2015.

TUSEK, L. et al. The effect of pressure and temperature on supercritical CO<sub>2</sub> dyeing of PET-dyeing with mixtures of dyes. *International Journal of Polymeric Materials*, v. 47, n.4, p.657-665, 2000.

USA. Department of Energy – DOE. *Industrial Technologies Program: Summary of Program Results for CY 2009*. US Energy Efficiency and Renewable Energy, 2009.

USA. Energy Information Administration – EIA. Documents of Energy Conference on June 15 and 16 at the RENAISSANCE ENERGY CONFERENCE. The (EIA) will hold its 2015 Downtown Hotel in Washington, DC. 2015.

VOUTERS, M. et al. Ultrasounds: an industrial solution to optimise costs environmental requests and quality for textile finishing. *Ultrasonics Sonochemistry*, v.11, p. 33-38, 2004.

WANG, W-M; YU, B; ZHONG, C-J. Use of ultrasonic energy in the enzymatic desizing of cotton fabric. *Journal of Clean Production*, v.33, p. 179-182, 2012.

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.

YIWU INTERNATIONAL EXHIBITION ON TEXTILE INDUSTRY – YIWUTEX. *2016 Post Show Report*. 2017. Disponível em: <[https://www.yiwutex.com/YIWUTEX17/Files/Pdf/YIWU16\\_show\\_report.pdf](https://www.yiwutex.com/YIWUTEX17/Files/Pdf/YIWU16_show_report.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2017.

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.

The background features several abstract geometric shapes in gold and beige. A large gold shape occupies the upper right and middle sections. A smaller gold shape with a jagged top edge is in the upper left. A beige parallelogram is in the bottom right corner. The word "Anexo" is written in white serif font in the bottom left.

Anexo

## ANEXO

### INSUMOS ENERGÉTICOS CONSUMIDOS POR SETOR E SEGMENTOS

|                                              | Anos | Consumo de energia (mil tep) |              |              |          |        |                  |     |                           |                 |                         |                    |
|----------------------------------------------|------|------------------------------|--------------|--------------|----------|--------|------------------|-----|---------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|
|                                              |      | Lenha                        | GN Caldeiras | GN Cogeração | GN Total | Diesel | Óleo Combustível | GLP | Eletricidade Força Motriz | Eletricidade AC | Eletricidade Iluminação | Eletricidade Total |
| Consumo Total do Setor<br>Dados EPE-BEN 2015 | 2004 | 93                           | 274          | 24           | 298      | 2      | 114              | 9   | 388                       | 268             | 13                      | 669                |
|                                              | 2005 | 93                           | 301          | 26           | 327      | 2      | 112              | 9   | 383                       | 264             | 13                      | 660                |
|                                              | 2006 | 94                           | 307          | 27           | 334      | 2      | 105              | 9   | 388                       | 268             | 13                      | 669                |
|                                              | 2007 | 96                           | 342          | 30           | 372      | 3      | 108              | 11  | 397                       | 274             | 14                      | 685                |
|                                              | 2008 | 95                           | 296          | 26           | 322      | 3      | 106              | 10  | 390                       | 269             | 13                      | 672                |
|                                              | 2009 | 88                           | 276          | 24           | 300      | 3      | 106              | 10  | 386                       | 266             | 13                      | 665                |
|                                              | 2010 | 92                           | 303          | 26           | 329      | 3      | 64               | 10  | 415                       | 286             | 14                      | 715                |
|                                              | 2011 | 76                           | 301          | 26           | 327      | 6      | 55               | 29  | 410                       | 283             | 14                      | 707                |
|                                              | 2012 | 73                           | 292          | 25           | 317      | 8      | 45               | 28  | 374                       | 258             | 13                      | 645                |
|                                              | 2013 | 71                           | 287          | 25           | 312      | 6      | 46               | 31  | 368                       | 254             | 13                      | 635                |
|                                              | 2014 | 69                           | 287          | 25           | 248      | 5      | 34               | 40  | 368                       | 254             | 13                      | 622                |
| Fiação                                       | 2004 |                              |              |              |          |        |                  |     | 68                        | 47              | 2                       | 117                |
|                                              | 2005 |                              |              |              |          |        |                  |     | 67                        | 46              | 2                       | 116                |
|                                              | 2006 |                              |              |              |          |        |                  |     | 68                        | 47              | 2                       | 117                |
|                                              | 2007 |                              |              |              |          |        |                  |     | 70                        | 48              | 2                       | 120                |
|                                              | 2008 |                              |              |              |          |        |                  |     | 68                        | 47              | 2                       | 118                |
|                                              | 2009 |                              |              |              |          |        |                  |     | 67                        | 47              | 2                       | 116                |
|                                              | 2010 |                              |              |              |          |        |                  |     | 73                        | 50              | 3                       | 125                |
|                                              | 2011 |                              |              |              |          |        |                  |     | 72                        | 49              | 2                       | 124                |
|                                              | 2012 |                              |              |              |          |        |                  |     | 65                        | 45              | 2                       | 113                |
|                                              | 2013 |                              |              |              |          |        |                  |     | 64                        | 44              | 2                       | 111                |
|                                              | 2014 |                              |              |              |          |        |                  |     | 64                        | 44              | 2                       | 109                |
| Tecelagem - Tecidos Planos                   | 2004 |                              |              |              |          |        |                  |     | 67                        | 46              | 2                       | 115                |
|                                              | 2005 |                              |              |              |          |        |                  |     | 66                        | 45              | 2                       | 114                |
|                                              | 2006 |                              |              |              |          |        |                  |     | 67                        | 46              | 2                       | 115                |
|                                              | 2007 |                              |              |              |          |        |                  |     | 68                        | 47              | 2                       | 118                |
|                                              | 2008 |                              |              |              |          |        |                  |     | 67                        | 46              | 2                       | 116                |
|                                              | 2009 |                              |              |              |          |        |                  |     | 66                        | 46              | 2                       | 114                |
|                                              | 2010 |                              |              |              |          |        |                  |     | 71                        | 49              | 2                       | 123                |
|                                              | 2011 |                              |              |              |          |        |                  |     | 71                        | 49              | 2                       | 122                |
|                                              | 2012 |                              |              |              |          |        |                  |     | 64                        | 44              | 2                       | 111                |
|                                              | 2013 |                              |              |              |          |        |                  |     | 63                        | 44              | 2                       | 109                |
|                                              | 2014 |                              |              |              |          |        |                  |     | 63                        | 44              | 2                       | 107                |

|                | Anos | Consumo de energia (mil tep) |              |              |          |        |                  |     |                            |                  |                          |                     |
|----------------|------|------------------------------|--------------|--------------|----------|--------|------------------|-----|----------------------------|------------------|--------------------------|---------------------|
|                |      | Lenha                        | GN Caldeiras | GN Cogeração | GN Total | Diesel | Óleo Combustível | GLP | Elettricidade Força Motriz | Elettricidade AC | Elettricidade Iluminação | Elettricidade Total |
| Malharia       | 2004 |                              |              |              |          |        |                  |     | 150                        | 104              | 5                        | 259                 |
|                | 2005 |                              |              |              |          |        |                  |     | 148                        | 102              | 5                        | 255                 |
|                | 2006 |                              |              |              |          |        |                  |     | 150                        | 104              | 5                        | 259                 |
|                | 2007 |                              |              |              |          |        |                  |     | 154                        | 106              | 5                        | 265                 |
|                | 2008 |                              |              |              |          |        |                  |     | 151                        | 104              | 5                        | 260                 |
|                | 2009 |                              |              |              |          |        |                  |     | 149                        | 103              | 5                        | 257                 |
|                | 2010 |                              |              |              |          |        |                  |     | 160                        | 111              | 6                        | 277                 |
|                | 2011 |                              |              |              |          |        |                  |     | 159                        | 109              | 5                        | 274                 |
|                | 2012 |                              |              |              |          |        |                  |     | 145                        | 100              | 5                        | 250                 |
|                | 2013 |                              |              |              |          |        |                  |     | 143                        | 98               | 5                        | 246                 |
|                | 2014 |                              |              |              |          |        |                  |     | 143                        | 98               | 5                        | 241                 |
| Confecção      | 2004 |                              |              |              |          |        |                  |     | 58                         | 40               | 2                        | 100                 |
|                | 2005 |                              |              |              |          |        |                  |     | 57                         | 39               | 2                        | 98                  |
|                | 2006 |                              |              |              |          |        |                  |     | 58                         | 40               | 2                        | 100                 |
|                | 2007 |                              |              |              |          |        |                  |     | 59                         | 41               | 2                        | 102                 |
|                | 2008 |                              |              |              |          |        |                  |     | 58                         | 40               | 2                        | 100                 |
|                | 2009 |                              |              |              |          |        |                  |     | 57                         | 40               | 2                        | 99                  |
|                | 2010 |                              |              |              |          |        |                  |     | 62                         | 43               | 2                        | 107                 |
|                | 2011 |                              |              |              |          |        |                  |     | 61                         | 42               | 2                        | 105                 |
|                | 2012 |                              |              |              |          |        |                  |     | 56                         | 38               | 2                        | 96                  |
|                | 2013 |                              |              |              |          |        |                  |     | 55                         | 38               | 2                        | 95                  |
|                | 2014 |                              |              |              |          |        |                  |     | 55                         | 38               | 2                        | 93                  |
| Beneficiamento | 2004 | 93                           | 274          | 24           | 298      | 2      | 114              | 9   | 46                         | 32               | 2                        | 79                  |
|                | 2005 | 93                           | 301          | 26           | 327      | 2      | 112              | 9   | 45                         | 31               | 2                        | 78                  |
|                | 2006 | 94                           | 307          | 27           | 334      | 2      | 105              | 9   | 46                         | 32               | 2                        | 79                  |
|                | 2007 | 96                           | 342          | 30           | 372      | 3      | 108              | 11  | 47                         | 32               | 2                        | 81                  |
|                | 2008 | 95                           | 296          | 26           | 322      | 3      | 106              | 10  | 46                         | 32               | 2                        | 79                  |
|                | 2009 | 88                           | 276          | 24           | 300      | 3      | 106              | 10  | 46                         | 31               | 2                        | 78                  |
|                | 2010 | 92                           | 303          | 26           | 329      | 3      | 64               | 10  | 49                         | 34               | 2                        | 84                  |
|                | 2011 | 76                           | 301          | 26           | 327      | 6      | 55               | 29  | 48                         | 33               | 2                        | 83                  |
|                | 2012 | 73                           | 292          | 25           | 317      | 8      | 45               | 28  | 44                         | 30               | 2                        | 76                  |
|                | 2013 | 71                           | 287          | 25           | 312      | 6      | 46               | 31  | 43                         | 30               | 1                        | 75                  |
|                | 2014 | 69                           | 287          | 25           | 248      | 5      | 34               | 40  | 43                         | 30               | 1                        | 73                  |

Fonte: Elaboração própria



