



TECNOLOGIAS DE BAIXO CARBONO APLICÁVEIS AOS SETORES-CHAVE DO BRASIL

INDÚSTRIA

Larissa P. P. Nogueira

Março de 2015



Esse material objetiva a capacitação acerca das metodologias empregadas no projeto “Opções de mitigação de emissões de GEE em setores-chaves do Brasil”. Portanto, seu conteúdo não expressa resultados do projeto.



Índice

- Panorama da Indústria Nacional
 - Segmentação
 - Panorama geral
 - Consumo energético
 - Emissões de GEEs;
- Detalhamento dos segmentos
 - Sub-segmentação;
 - Processos produtivos;
 - Consumo energético
 - Emissões de GEE
 - Principais fontes de informação.
- Medidas de mitigação
 - Classificação
 - Descrição de medidas típicas transversais
 - Descrição de medidas típicas específicas em segmentos selecionados
 - Principais fontes de informação da indústria
- A curva de custo marginal de abatimento
- Exemplos de CMA



Segmentação da Indústria

- Balanço Energético Nacional: 11 setores
 - Cimento
 - Ferro-gusa e aço
 - Ferro-ligas
 - Mineração e Pelotização
 - Não-ferrosos e outros da metalurgia
 - Química
 - Alimentos e Bebidas
 - Têxtil
 - Papel e Celulose

- Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE/ IBGE.

Panorama Geral da Indústria

➤ Produto Interno Bruto por Setor:

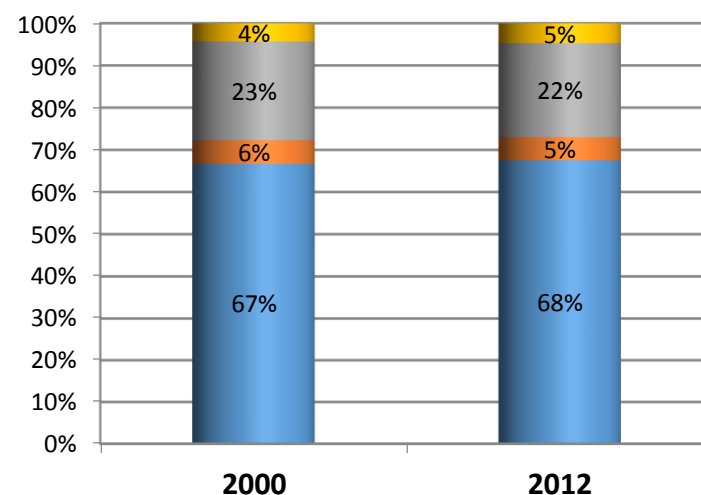
Contribuição Setorial para o Produto Interno Bruto ¹	→ 10 ⁹ US\$ (2012)					→ %	
	2001	2004	2007	2010	2012	2012/2000	Crescimento Anual Médio
SERVIÇOS	1.039,1	1.070,4	1.288,5	1.449,6	1.520,1	49,2%	3,4%
AGROPECUÁRIO	92,5	117,5	107,6	121,5	123,6	44,3%	3,1%
INDUSTRIAL	357,6	428,2	435,7	500,2	501,9	40,1%	2,9%
ENERGÉTICO ²	59,3	83,7	102,1	101,4	106,4	61,8%	4,1%
TOTAL	1.548,5	1.699,8	1.933,9	2.172,7	2.252,0		

¹Distribuição setorial estimada a partir do sistema de contas nacionais (IBGE). Dummy financeiro distribuído proporcionalmente aos setores econômicos.

²Corresponde a extração de petróleo, gás natural e carvão mineral; refino de petróleo; destilação de álcool, geração de eletricidade e produção de coque.

- Cenário externo favorável;
- Ambiente interno estável;
- Ampliação do mercado doméstico;
- Recente estagnação;
- Representa em torno de 23% do PIB nacional.

PIB Setorial - Participação Relativa



Fonte: EPE (2014).

- Energético
- Industrial
- Agropecuário
- Serviços

Panorama Geral da Indústria

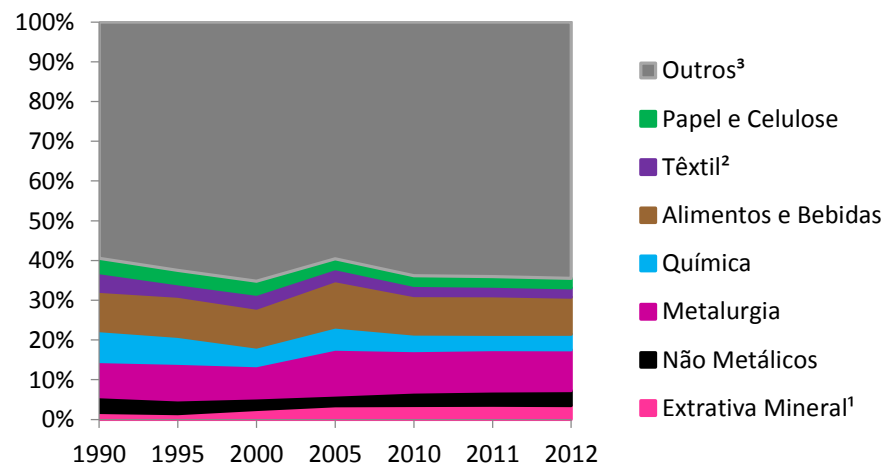
➤ Produto Interno Bruto por segmento industrial

Contribuição Intersectorial para o Produto Interno Bruto ¹ - Indústria						→ 10 ⁹ US\$ (2012)	→ %
	2001	2004	2007	2010	2012	2012/2000	Crescimento Anual Médio
Extrativa Mineral ²	8,3	13,9	13,1	17,6	17,5	95,3	5,7
Não Metálicos	10,5	12,7	11,4	16,9	18,9	80,6	5,1
Metalurgia	30,9	49,1	47,9	52,1	51,5	77,6	4,9
Química	19,8	28,1	20,4	20,9	19,6	16,9	1,3
Alimentos e Bebidas	40,9	49,5	45,9	48,4	46,8	33,5	2,4
Têxtil ³	12,7	12,5	12,1	12,8	11,8	-6,0	-0,5
Papel e Celulose	10,6	13,5	10,8	12,2	12,0	2,3	0,2
Outros ⁴	224,0	248,9	274,2	319,3	323,6	38,6	2,8
TOTAL	357,6	428,2	435,7	500,2	501,9		
¹ Distribuição setorial estimada a partir do sistema de contas nacionais (IBGE). Dummy financeiro distribuído proporcionalmente aos setores econômicos.							
² Exclusive extração de petróleo, gás natural e de carvão mineral.							
³ Exclusive vestuário, calçados e artefatos de tecido.							
⁴ Corresponde a mecânica, materiais elétricos e comunicação, materiais de transporte, madeira, mobiliário, borracha, farmacêutica, perfumaria, sabões e velas, produção de matérias plásticas, fumo, construção e diversos.							

Fonte: EPE (2014).

- Extrativa mineral e não metálicos são os setores que mais cresceram;
- Setor têxtil apresentou retração no período de análise.

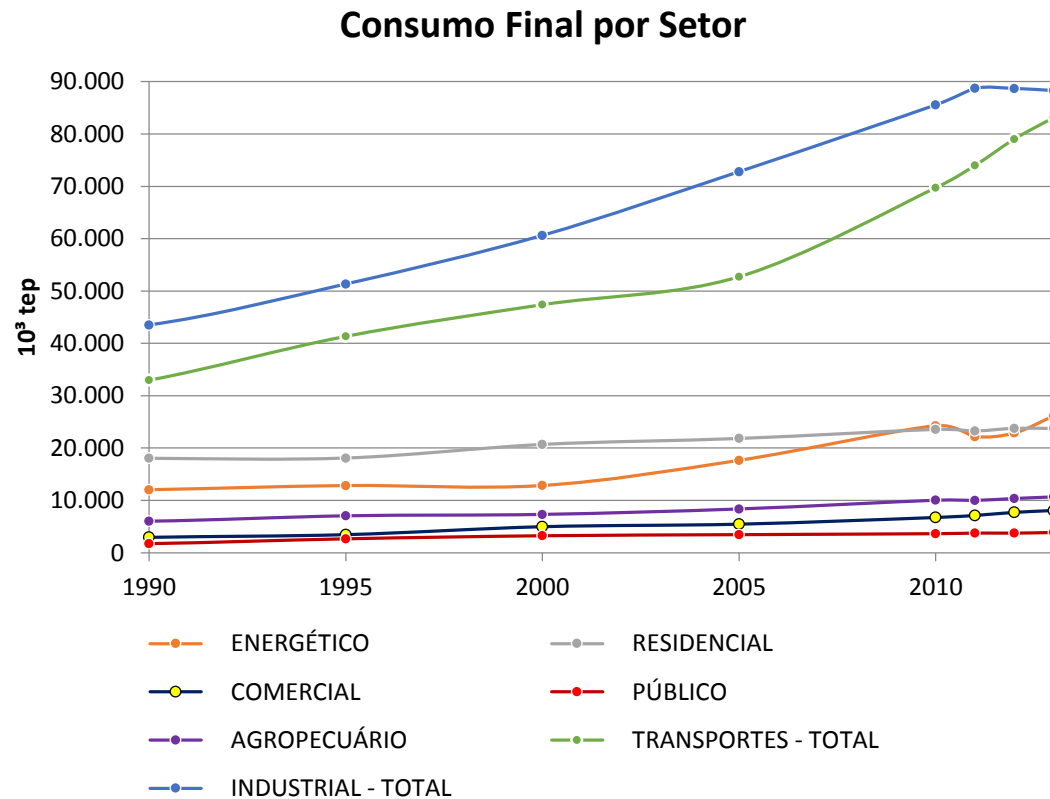
Evolução da Participação Industrial no PIB - Intersectorial





Panorama Consumo Energético

➤ Consumo Final por Setor

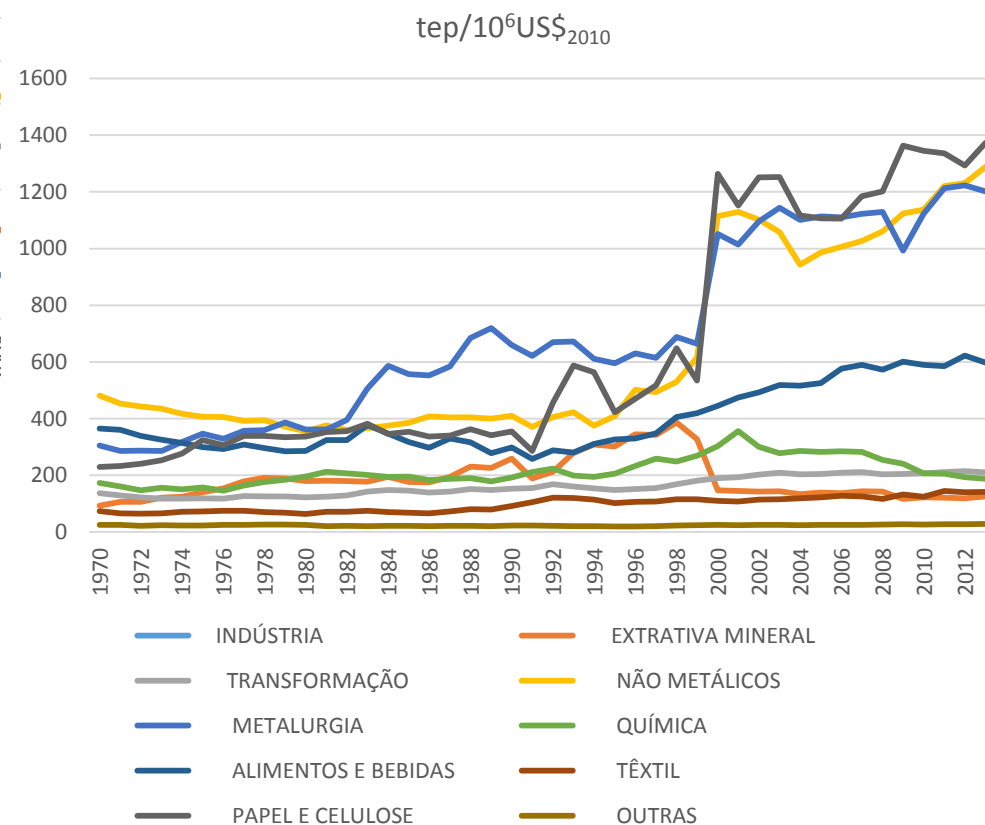
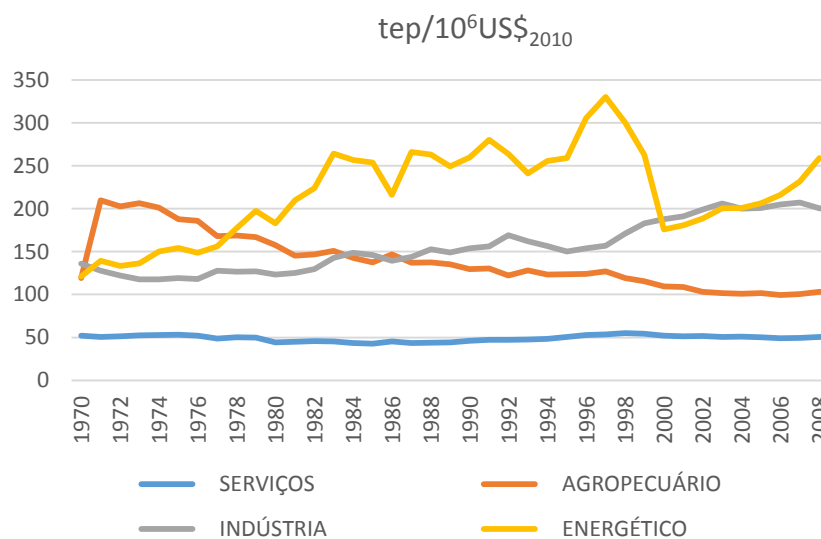


- Prioritariamente de base, é o setor mais energointensivo do país.
- Representa em torno de 35% do consumo energético nacional.
- Redução recente no consumo devido a estagnação econômica.



Panorama Consumo Energético

➤ Intensidade Energética (consumo final/PIB)



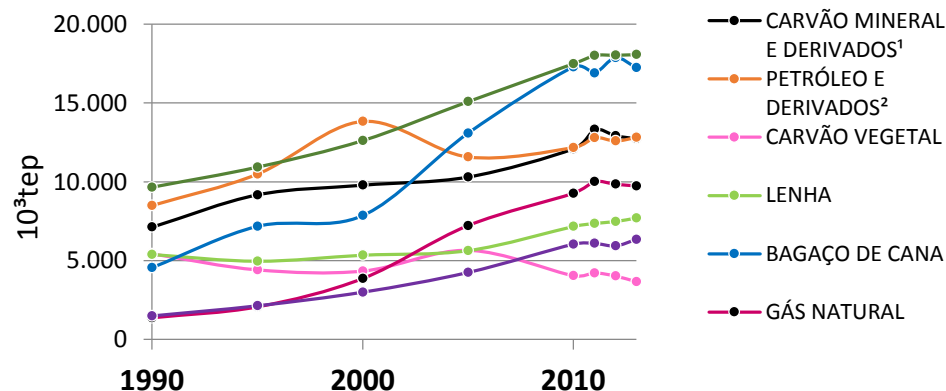
Panorama Consumo Energético



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

➤ Consumo Energético da Indústria por Fonte:

Evolução das Fontes de Energia - Indústria

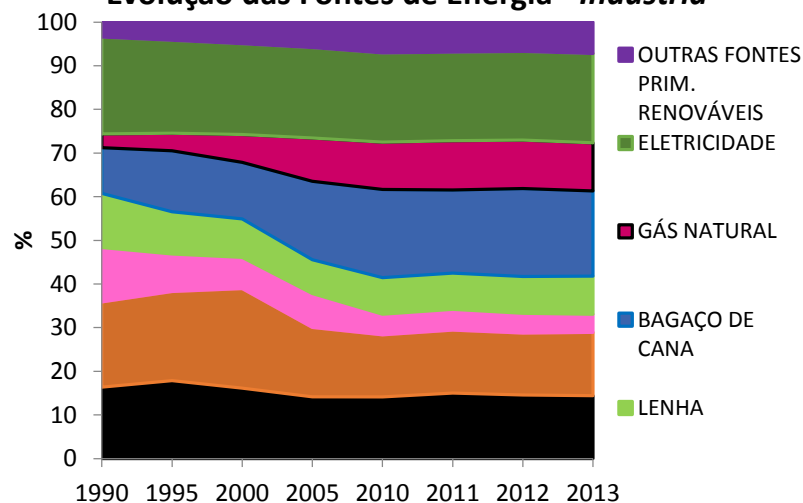


➤ Óleo combustível deu espaço ao gás natural;

➤ Alto consumo de bagaço de cana por incluir a indústria de açúcar (alimentos e bebidas);

➤ Redução do consumo de carvão vegetal no setor de siderurgia.

Evolução das Fontes de Energia - Indústria

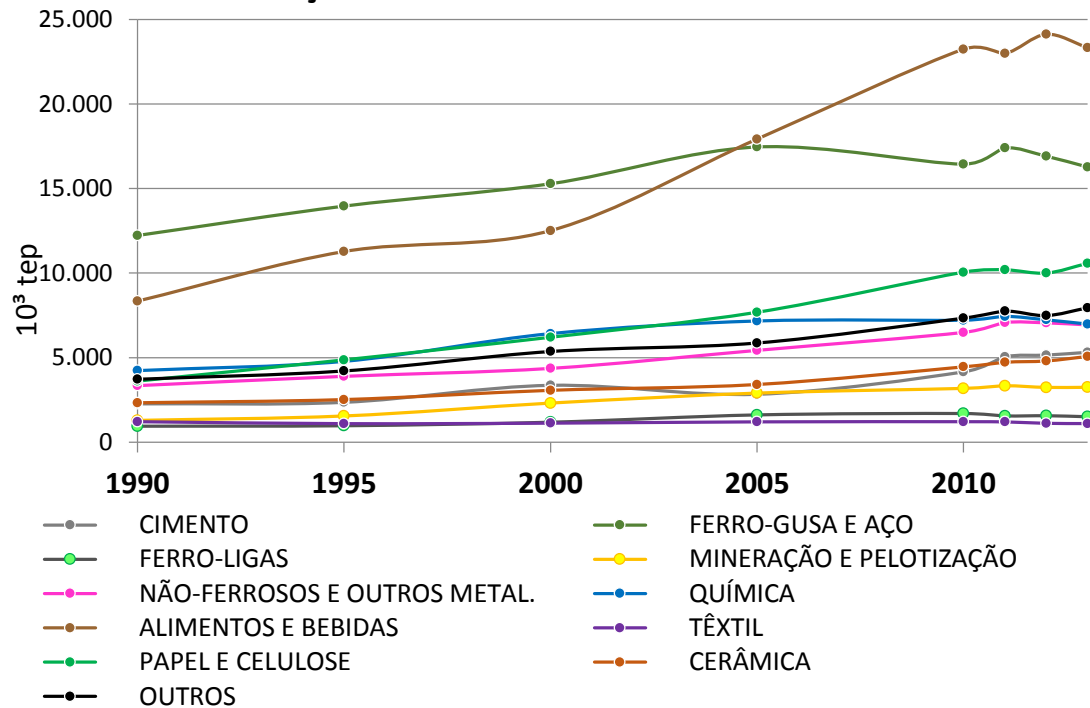




Panorama Consumo Energético

➤ Consumo Energético da Indústria sub-setor:

Evolução do Consumo Final Intersectorial - Indústria



Fonte: EPE (2014).

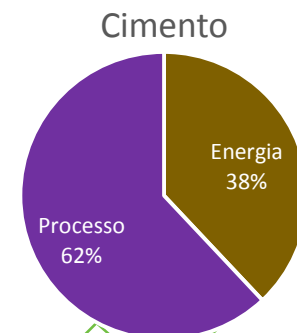
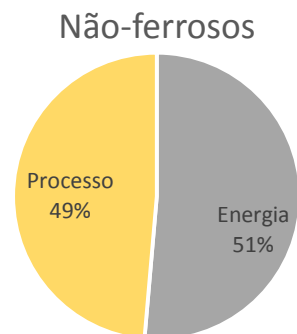
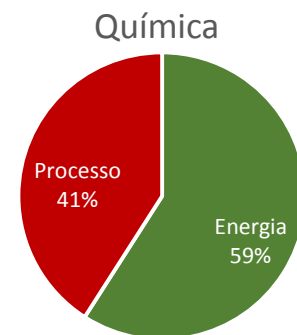
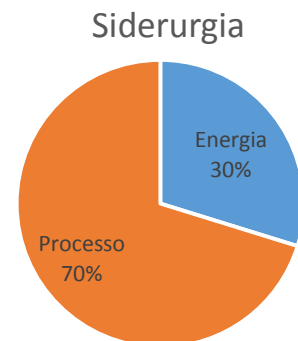
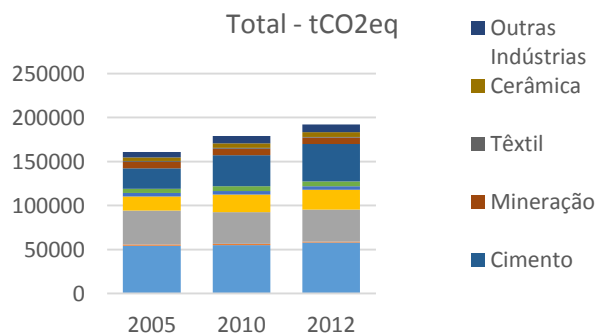
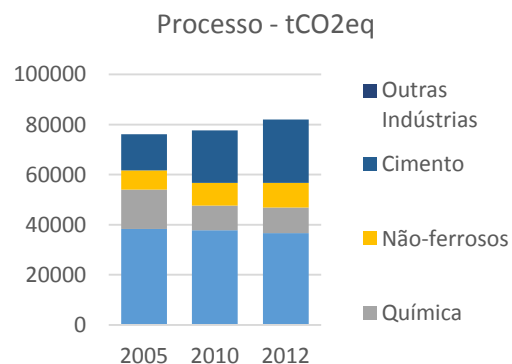
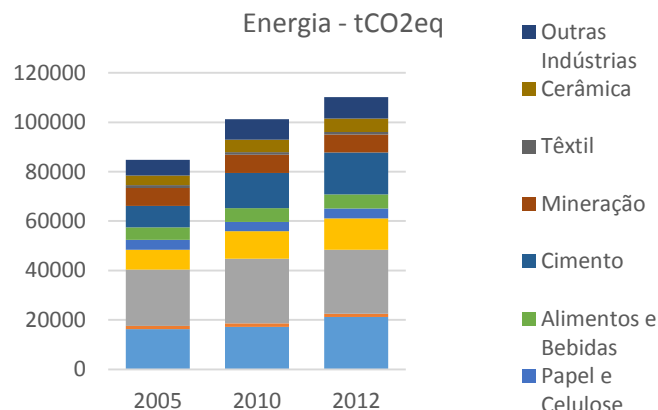
- Alimentos e bebida inclui o consumo de bagaço na produção de açúcar.
- Estagnação econômica mundial e redução de exportações afetou principalmente o setor de siderurgia.

Emissões de Gases de Efeito Estufa



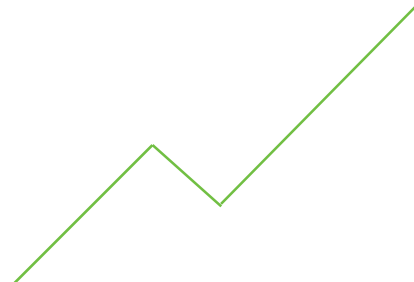
Opções de Mitigação de Emissões
de Gases de Efeito Estufa em
Setores-Chave do Brasil

➤ Emissões CO_{2eq} por setor:





Segmentos Industriais

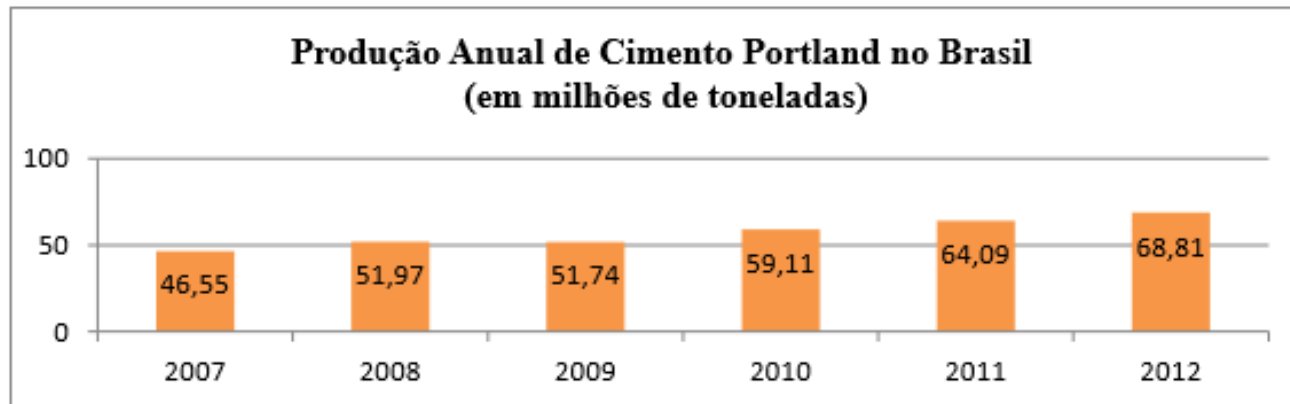




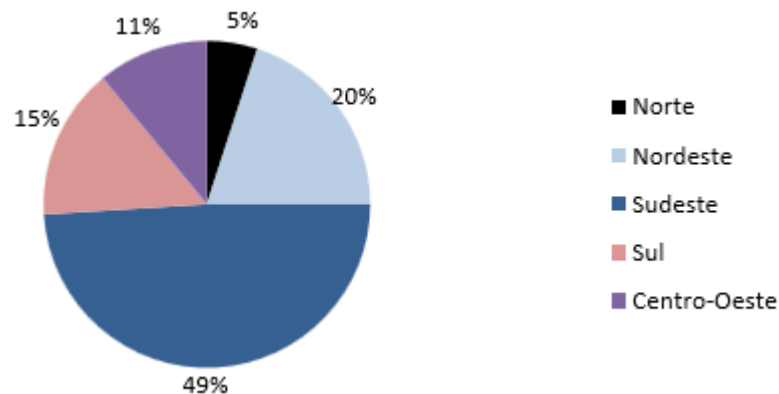
Cimento

Segmentação do Setor

➤ Por região:



Fonte: SNIC (2012).





Cimento

Segmentação do Setor

➤ Por processo e produto:

Tipo		Clínquer (%)	Escórias de Alto-forno (%)	Material Pozolânico (%)	Material Carbonático (%)
CPI	CPI	100	-	0	-
	CPI-S	95 a 99	-	1 a 5	-
CP II	CP II-E	56 a 94	6 a 34	-	0 a 10
	CP II-Z	76 a 94	-	6 a 14	0 a 10
	CP II-F	90 a 94	-	-	6 a 10
CP III	CP III	25 a 65	35 a 70	-	0 a 5
CP IV	CP IV	45 a 85	-	15 a 50	0 a 5
CP V	CP V	95 a 100	-	-	0 a 5

Fonte: SNIC (2007).

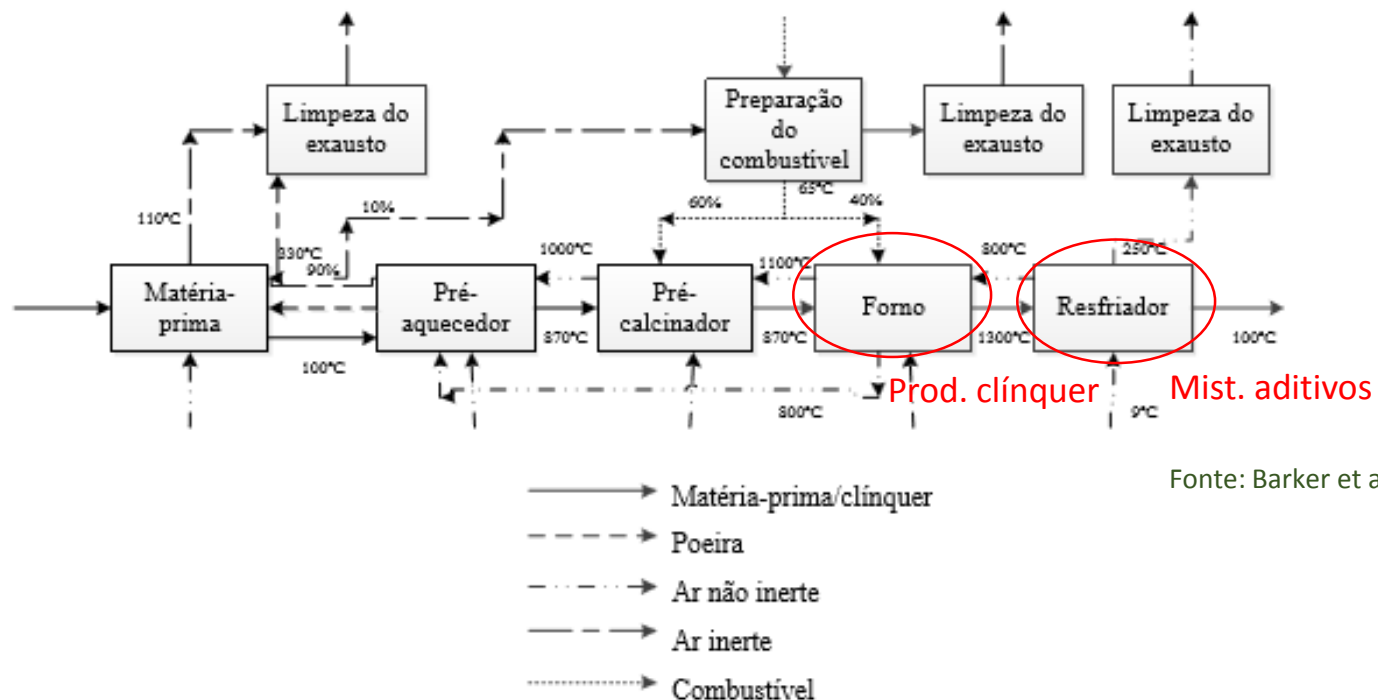
➤ A qualidade do calcário e processo utilizado influenciam no consumo energético e nas emissões do setor.



Cimento

Processo Produtivo

- No Brasil, tem-se somente a produção via rota seca.



Fonte: Barker et al. (2009).

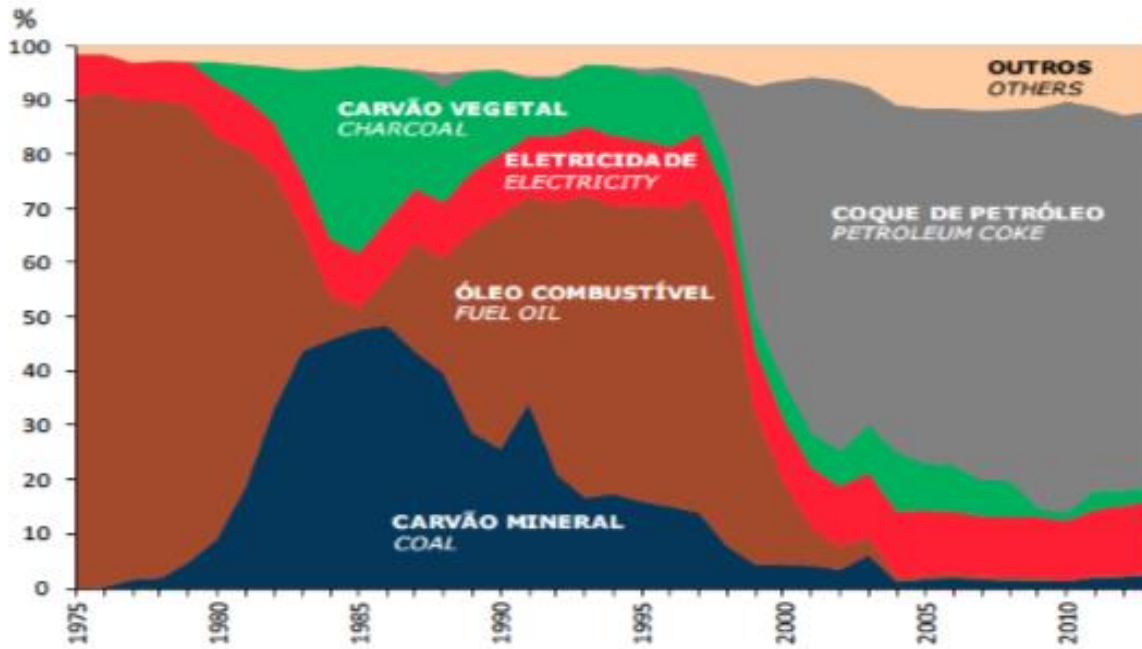
- As matérias-primas para a fabricação do clínquer são basicamente calcário e argila, além de eventuais aditivos como areia, bauxita e minério de ferro



Cimento

Consumo Energético

➤ Evolução do consumo de combustíveis.



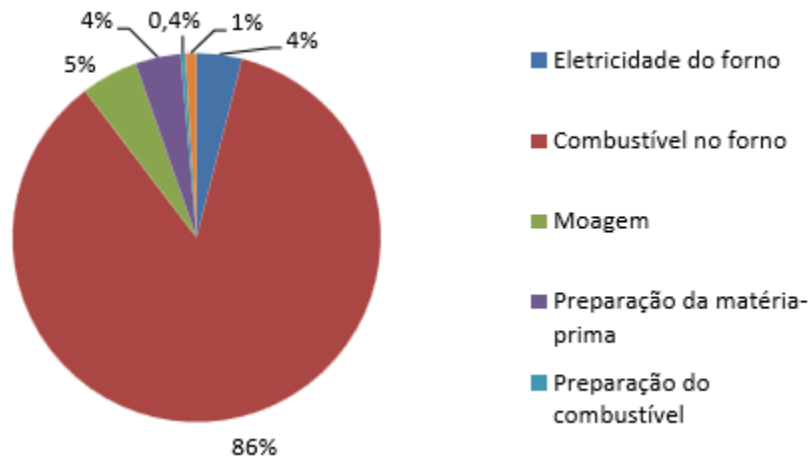
Fonte: EPE (2012).



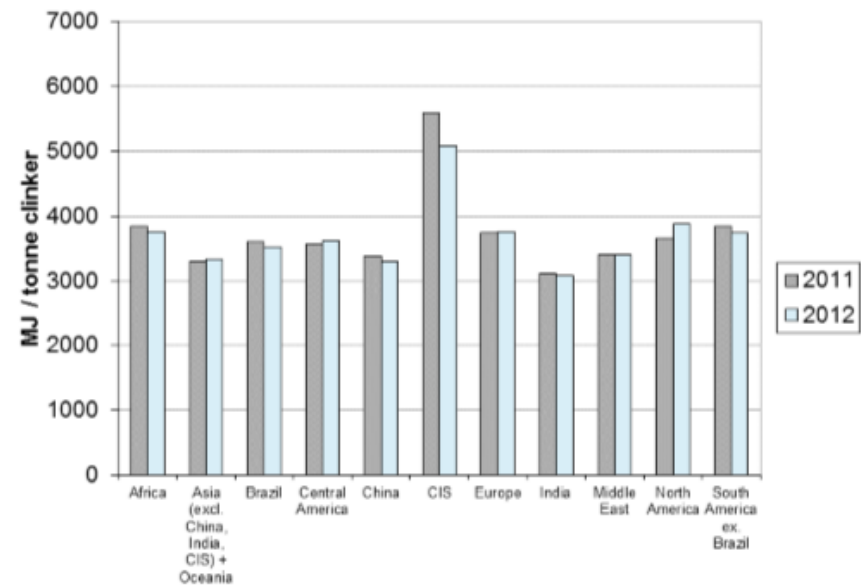
Cimento

Consumo Energético

➤ Consumo específico.



Fonte: CIPEC (2009).



Fonte: CSI (2014).

Ano	1990	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Cons. energia térmica (MJ/t clínquer)	4210	3470	3740	3770	3580	3610	3570	3680	3620	3520
Cons. Energia elétrica (kWh/t cimento)	110	108	110	112	112	114	113	109	108	103

Fonte: CSI (2014).

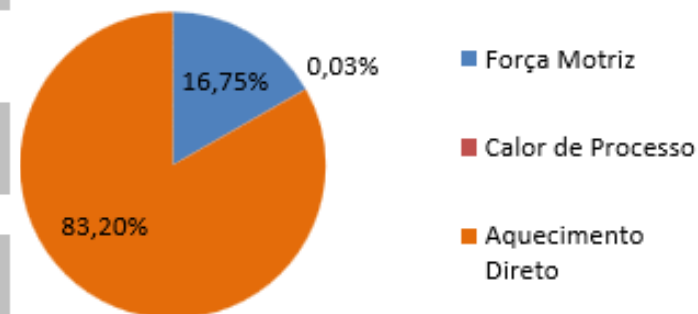


Cimento

Consumo Energético

➤ Uso final.

Etapas do processo	Principais equipamentos	Uso final da energia
Extração de matéria-prima	Britados, perfuratriz, locomotiva, caminhões, cinta transportadora	Força motriz
Britagem, depósito de calcário e argila	Britador, extrator, cinta transportadora, filtro de despoiramento	Força motriz
Moagem e homogeneização da farinha crua	Cinta transportadora, secador, moinho, etc.	Aquecimento direto, força motriz e calor de processo
Alimentação do forno	Rosca, elevador, bomba e ciclones	Força motriz
Forno rotativo	Aquecedor, ventilador, queimador, bomba e motor	Aquecimento direto, força motriz e calor de processo
Britagem do gesso e moagem do cimento	Britador, cinta transportadora, moinho, separadores	Força motriz
Ensacamento e expedição	Sistema pneumático, ensacadoras, caminhões e filtros	Força motriz



Fonte: CNI (2010).



Cimento

Emissões de GEE

- 50% das emissões na etapa de calcinação:



- 40% das emissões por queima de combustíveis no forno;
- 10% pelo transporte de matérias-primas e consumo de energia elétrica.
- Assim, espera-se que medidas de mitigação específicas tenham papel fundamental na redução de emissões de GEEs do setor.
- Medidas de mitigação específicas típicas:
 - Processo via seca com múltiplos estágios de preaquecedores e precalcinadores;
 - Matéria-prima não carbonatada para a produção de cimento
 - Adição de pozolana ao cimento



Cimento

Fontes de Informação

➤ Dados Setoriais – CIMENTO

- ABDI, 2012. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Subsídios para a Elaboração de uma Estratégia Industrial Brasileira para Economia de Baixo Carbono. Caderno 4 – Nota Técnica Cimento. 2012. Disponível em <<http://www.abdi.com.br>>. Acesso em 10/08/2014.
- CIPEC, 2009. Canadian Industry Program for Energy Conservation. Canadim Cement Industry. Energy Benchmarking. Summary Report. Canada, 2009.
- CNI, 2010. Confederação Nacional das Indústrias. Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial: cimento. Brasília: CNI, 2010.
- CNI, 2012. Indústria Brasileira de Cimento: Base para a construção do desenvolvimento. Confederação Nacional da Indústria. Brasília, 2012.
- CSI, 2014. Cement Sustainability Initiative. Disponível em <<http://www.wbcdcement.org/>> Acesso em 22 de setembro de 2014.
- CSI/ECRA, 2009. Cement Sustainability Initiative. European Cement Research Academy. Development of State of the Art-Techniques in Cement Manufacturing: Trying to Look Ahead. Genebra, 2009.
- IEA, 2009. Cement Technology Roadmap. Carbon Emissions Reductions up to 2050. 2009.
- MCTI, 2010. Ministério da Ciência e Tecnologia. 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. 2010.
- SNIC, 2012. Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento. Relatório Anual 2012.

➤ BAT – CIMENTO

- APP, 2008. Asian-Pacific Partnership. Energy Efficiency and Resource Saving Technologies in Cement Industry. Cement Task Force. Disponível em <http://asiapacificpartnership.org/pdf/Projects/Cement/APP_Booklet_of_Cement_Technology.pdf> Acesso em 15 de outubro de 2014.
- IIP, 2014. Institute for Industrial Productive. Industrial Efficiency Technology Database. Disponível em <http://ietd.iipnetwork.org/>. Acesso em 22/09/14.
- IPPC, 2013. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries. Official Journal of the European Union. Volume 56. April, 2013.
- WORRELL, E., GALITSKY, C., 2008. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Cement Making. Ernest Orlando Lawrence. Berkeley National Laboratory. Na Energy Star Guide for Energy and Plant Managers. Environmental Energy Technologies Division. California, 2008.



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Segmentação Aço

➤ Principais Empresas e localização geográfica

Empresa	Capacidade (2012) 10 ³ t
Aperam	870
ArcelorMittal Aços Longos	3.970
ArcelorMittal Tubarão/Vega	7.740
Grupo CSN	5.750
Gerdau Açominas + Aços Longos	9.970
Gerdau Aços Especiais + Aços Villares	1.425
Grupo Usiminas	9.454
V&M do Brasil	700
Villares Metals	100
Votorantim Siderurgia	1.790
Sinobras	300
ThyssenKrupp CSA	5.200
VSF	1.050
Total	48319



Estado	10 ³ t	Participação (%)
Minas Gerais	11.780	34,1
Rio de Janeiro	10.261	29,7
São Paulo	5.607	16,3
Espírito Santo	4.809	13,9
Rio Grande do Sul	776	2,3
Pará	319	0,9
Paraná	314	0,9
Bahia	287	0,8
Pernambuco	228	0,7
Ceará	143	0,4
Brasil	34.524	100

94%

Fonte: Instituto Aço Brasil (2013).



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Segmentação Aço

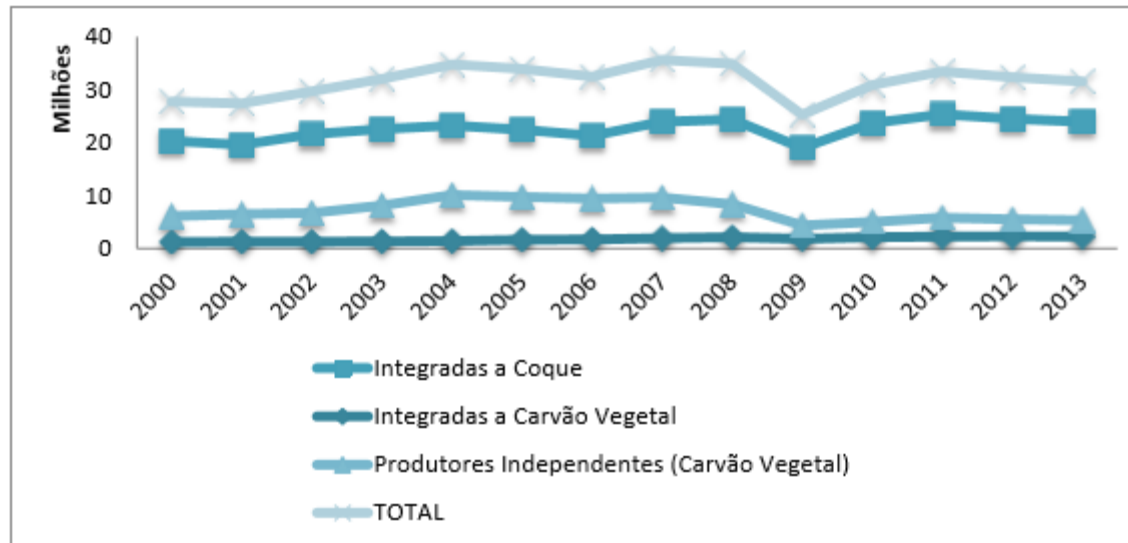
- Rotas de Produção
 - Usinas Integradas (81%)
 - Produtos: laminados planos, laminados longos.
 - Usinas Semi-integradas (19%)
 - Produto: Aços longos
- Processo de Aciaria
 - Oxigênio – etapa de refino – *LD/BOF* (75,2%)
 - Elétrico – *Electric Arch Furnace* (23,4%)
 - EOF – *Energy Optimizing Furnances* (1,4%)
- Produtos
 - Aço carbono – 86% da produção.
 - Aço ligado – 14% da prod.
 - Semi-acabados: Placas, lingotes, bobinas, chapas, barras, tarugos, etc.
 - Planos x Longos



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Segmentação Ferro

- Ferro-esponja (1 aciaria) x ferro-gusa
- Produtores independentes:
 - Processo de redução simples (BF).
- Usinas integradas: 83% da produção de gusa nacional
- Coque x Carvão vegetal
 - 24% da produção brasileira utiliza carvão vegetal em substituição ao coque.



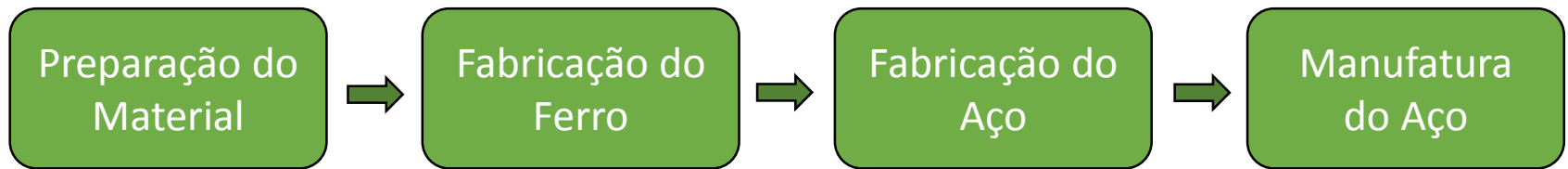
Fonte: SINDIFER (2013).



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Processos

➤ 4 Etapas principais



➤ 4 rotas de produção ferro + aço

- Alto Forno + Conversão a O₂ – rota integrada
- Fusão Redutora + Conversão a O₂ – rota integrada
- Redução Direta + Forno Elétrico a Arco – rota integrada
- Sucata + Forno Elétrico a Arco – rota semi-integrada



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Processos: Preparação do Material

➤ Produção de Coque

- Importante em usinas integradas com rota AF+CO: agente redutor e fonte de energia térmica. Representa 10% da demanda de energia.
- “Destilação seca”: mistura e pulverização do carvão é aquecida em ausência de ar;
- Gases produzidos são reaproveitados;

➤ Sinterização

- Formação de sínter de partículas finas minério-de-ferro para o alto forno.
- Deposita-se o minério em uma grelha de deslocamento em que o coque entra em combustão.

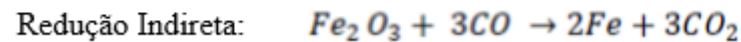
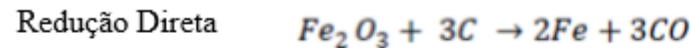


Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Processos: Fabricação do Ferro

➤ Alto-forno

- O oxigênio presente no minério de ferro é removido para converter os pellets ou sinters em metal quente (hot metal). Essa remoção é realizada por um processo de redução ocorre dentro do interior refratário dos alto-fornos



- O gás de alto-forno pode ser reaproveitado.

➤ Fusão Redutora

- É utilizado para gerar ferro-gusa sem a necessidade de produção de coque, fazendo uso da gaseificação do carvão para redução do minério de ferro, reduzindo o Fe_2CO_3 através dos agentes redutores CO e H_2 . Após a redução, um conversor a oxigênio é utilizado para produzir o aço.

➤ Redução Direta

- Produz ferro-esponja reduzindo o minério de ferro estado sólido (sem a formação de ferro fundido) e pode ser transformado em aço através do processo de forno elétrico a arco.
- Atrativo em mercados menores.



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Processos: Fabricação do Aço

➤ Conversor em Oxigênio

- O ferro proveniente do alto-forno contém entre 4 a 4,5% de carbono, enxofre e alguns aditivos, cujos teores estão acima das especificações do aço final.
- Dessulfurização seguida de conversão via injeção de O₂.
- Devido à grande liberação energética nos gases resultantes das reações exotérmicas, a etapa pode ser produtora de energia.

➤ Forno de Arco Elétrico

- Sucata e/ou unidades manufaturadas de ferro (como ferro-gusa, ferro-esponja e carboneto de ferro) são derretidos e convertidos em aço de alta qualidade através de arcos elétricos de alta potência formados entre um catodo e dois ou três anodos.
- A quantidade de energia necessária depende muito da mistura de insumos injetada no forno;

➤ Lingotamento Contínuo

- O aço fundido é moldado de acordo com as necessidades de cada fábrica.



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Processos: Manufatura do Aço

- Laminação a Quente
 - Reaquecimento dos produtos fundidos e uma deformação/conformação posterior.
 - Necessita mais energia para calor.

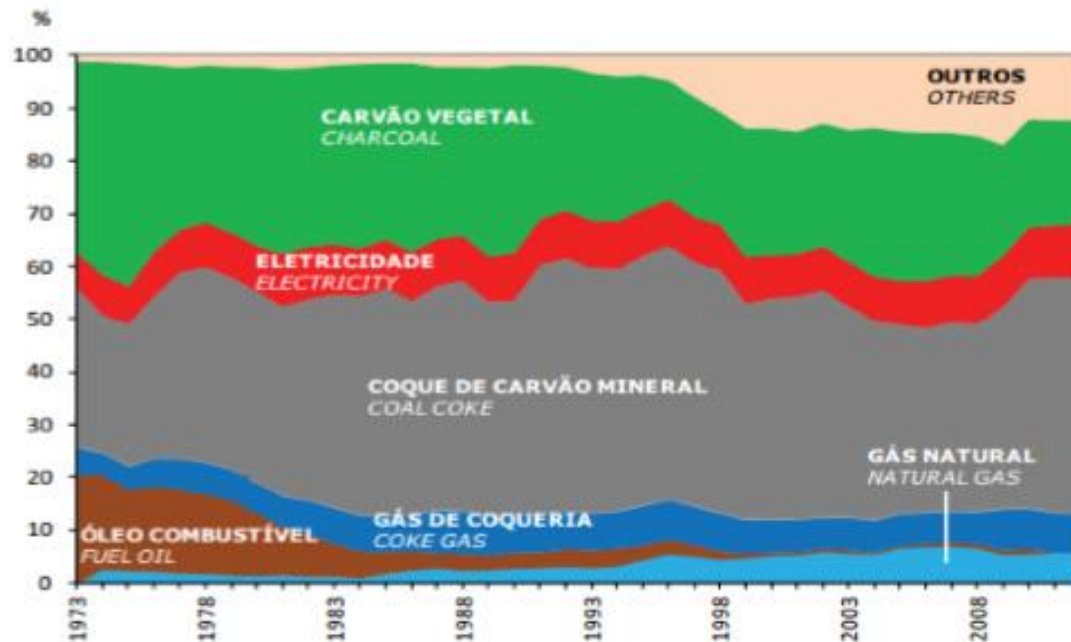
- Laminação a Frio e Acabamento
 - Engloba diferentes processos de laminação que podem ser aplicados aos produtos da laminação a quente anterior.
 - Necessita mais energia para força.



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Panorama Consumo Energético

- Consumo energético em 2012: ~700 PJ
 - Etapas: preparação do material, fabricação de ferro, fabricação de aço, manufatura de aço.



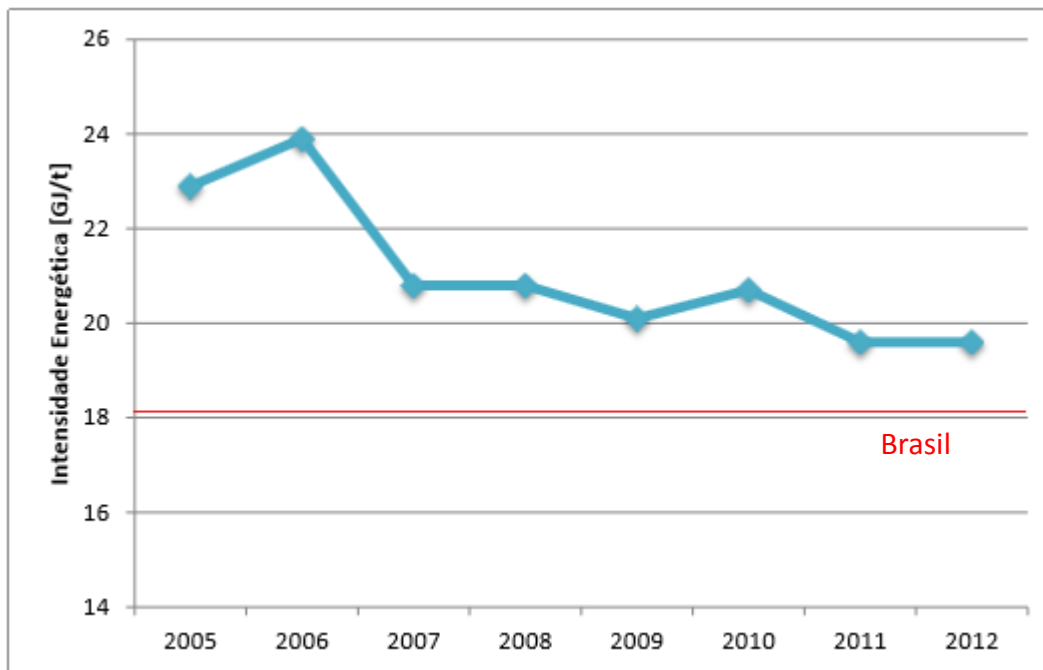
Fonte: EPE (2013).



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Panorama Consumo Energético

- Consumo energético específico: 18,13 GJ/ton



Fonte: World Steel Association (2014).



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Panorama Consumo Energético

➤ Por etapa:

Etapa	Processo	Alto-forno + Conversor a Oxigênio	Fusão Redutora + Conversor a Oxigênio	Redução Direta + FEA	Sucata + FEA
Prep. De Materiais	Sinterização	<u>1,9</u>	-	<u>1,9</u>	-
	Pelotização	-	-	-	-
	Coqueificação	0,8	-	-	-
Fabricação de Ferro	Alto-forno	12,2	-	-	-
	Fusão Redutora	-	17,3	-	-
	Redução Direta	-	-	11,7	-
Fabricação de Aço	Conversor a Oxigênio	-0,4	-0,4	-	-
	Forno Elétrico	-	-	2,5	2,4
	Refino	0,1	0,1	-	-
Manufatura do Aço	Longo. Contínuo	0,1	0,1	0,1	0,1
	Lam, a Quente	<u>1,8</u>	<u>1,8</u>	<u>1,8</u>	<u>1,8</u>
	Lam. a Frio e Acab.	1,5	1,5	-	-
Total	-	18	20,4	18	4,3

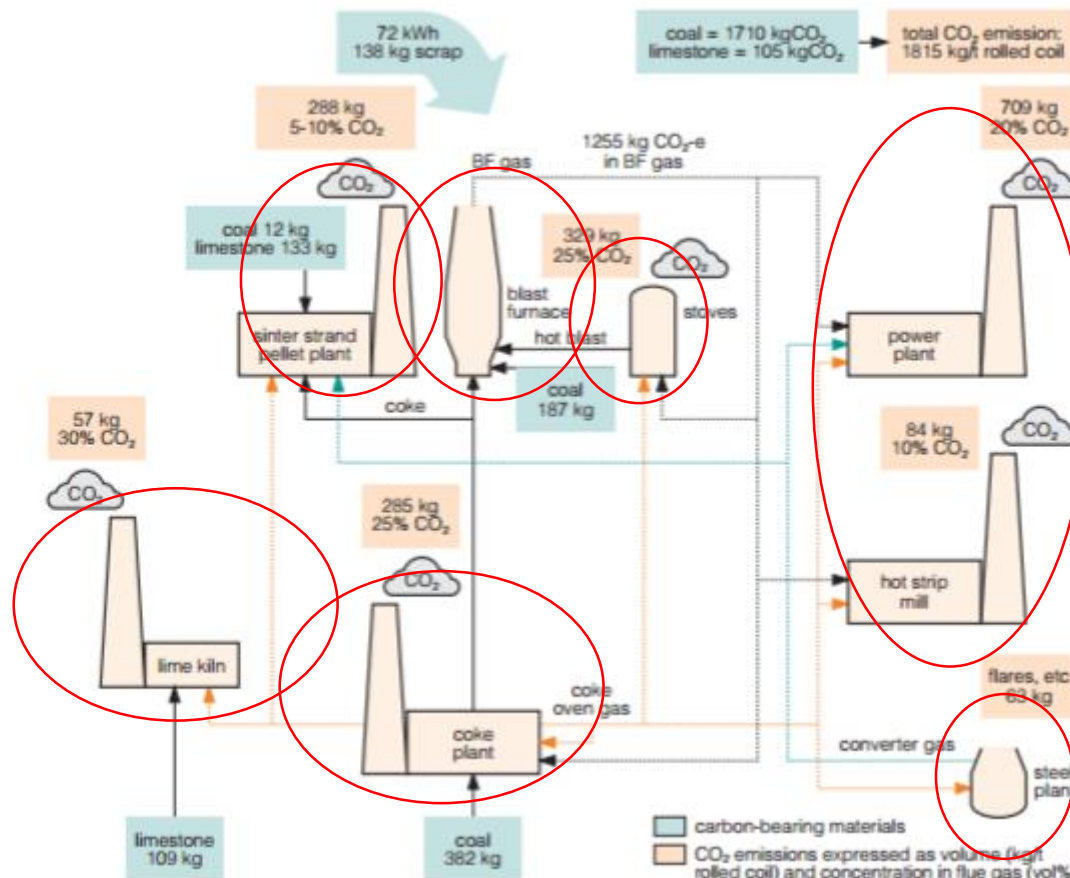
Fonte: Adaptado de Worrel et al. (2008)



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Panorama de Emissões de GEE

- Emissões em uma típica usina integrada.



Fonte: World Steel Association (2014).



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Panorama de Emissões de GEE

- Medidas típicas específicas:
 - Novos processos de fusão redutora (Smelting reduction);
 - Processo COREX de fusão redutora
 - Processo FINEX de fusão redutora
 - Processo Itmk3 de redução direta;
 - Processo Midrex com sistema de captura;
 - Novos processos de fornos elétricos a arco utilizando energia primária
 - HotDRI
 - ECOARC



Siderurgia (Ferro-gusa e Aço)

Fontes de Informação

➤ Dados Setoriais – SIDERURGIA

CNI. 2012. A Indústria do Aço no Brasil - Encontro da Indústria para a Sustentabilidade. Brasília : Confederação Nacional da Indústria, 2012.

Instituto Aço Brasil. 2013. Anuário Estatístico. Rio de Janeiro : s.n., 2013.

SINDIFER. 2013. Anuário. Belo Horizonte : Sindicato da Indústria de Ferro do Estado de Minas Gerais, 2013.

World Steel Association. 2014. World Steel Association. [Online] 2014. <http://www.worldsteel.org/>.

➤ BAT – SIDERURGIA

Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate. 2010. The State-of-the-Art Clean Technologies for Steelmaking Handbook. 2010.

EIPPCB. 2013. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production . s.l. : Joint Research Centre, 2013.

EPA. 2012. AVAILABLE AND EMERGING TECHNOLOGIES FOR REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM THE IRON AND STEEL INDUSTRY. s.l. : United States Environmental Protection Agency, 2012.

IEA. 2010. Energy Technology System Analysis Program - Iron and Steel. 2010.

Worrel, E.; Blinde, P.; Neelis, M.; Blomen, E.; Masanet, E. 2010. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the U.S. Iron and Steel Industry. Berkeley : Environmental Energy Technologies Division, 2010.

Worrel, E.; Price, L.; Neelis, M.; Galitsky, C.; Nan, Z. 2008. World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors. Berkeley : Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008.



Ferro-Ligas

Segmentação

- Produtos relevantes do setor no Brasil (Leite, Bajay e Debonzi, 2010):
 - Ferro-ligas de manganês;
 - Ferrosilício;
 - Ferro-cromo, distinto quanto ao teor de carbono (alto e baixo);
 - Ligas de níquel.

- Além destas, seriam consideradas outras denominadas “especiais”, destacando-se o ferro-nióbio.



Ferro-Ligas

Segmentação

➤ Ferro-ligas e aplicações:

Produto	Principais aplicações
Ferro manganês	Aços comuns e especiais
Ferro silício manganês	Fundições
Ferro silício	Aços comuns e especiais
Ferro cálcio silício	Alumínio
Silício metálico	Células fotovoltaicas
Silício eletrônico	Silicone
Silício fotovoltaico	
Ferro cromo	Aço inoxidável
Ferro silício cromo	
Ferro níquel	Aço inoxidável
Ferro silício magnésio	Aço especial
Ferro nióbio	

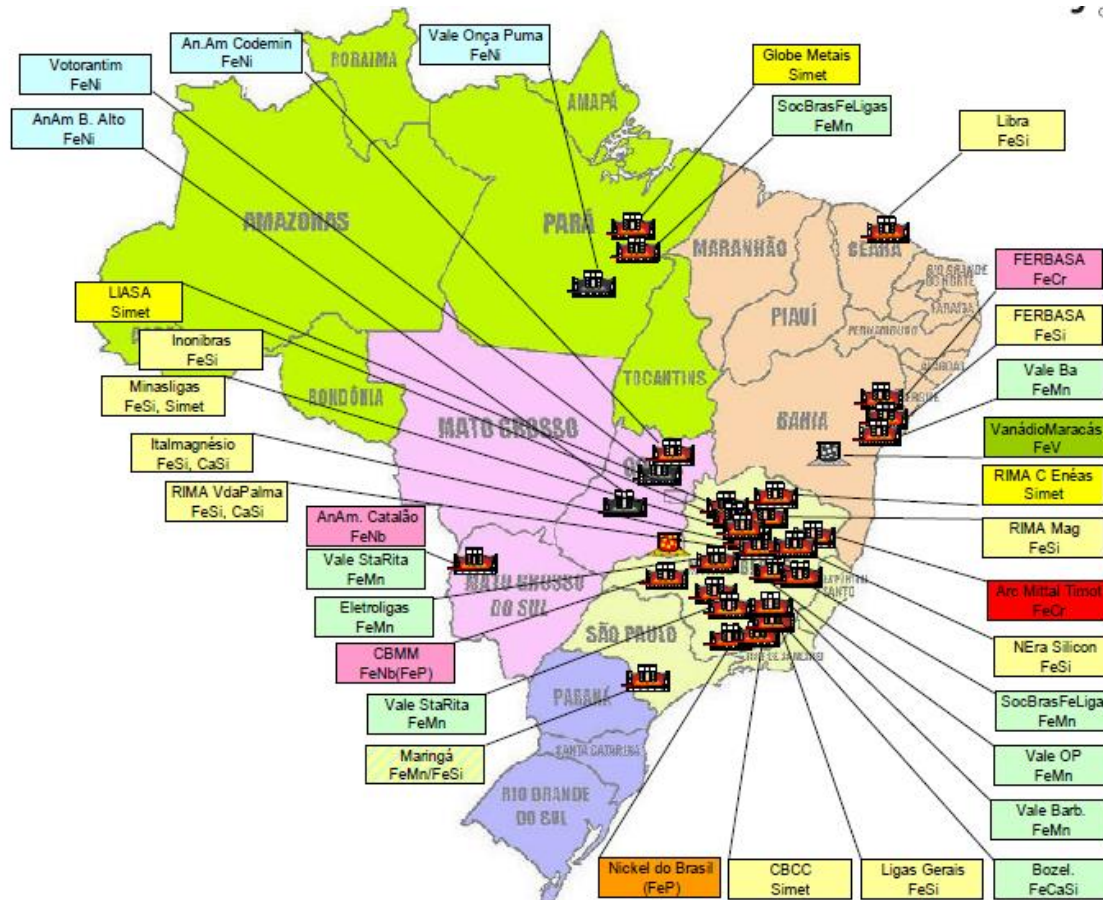
Fonte: ABRAFE (2014).

- Ferro-ligas são insumo importante na indústria siderúrgica, pois influem diretamente na propriedade final do aço.



Ferro-Ligas Segmentação

➤ Distribuição espacial:



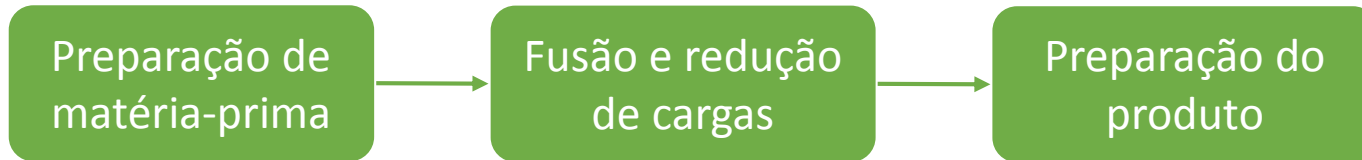
Fonte: Kruger (2009).



Ferro-Ligas

Processos

➤ Etapas:



➤ Os processos utilizados para produção de ligas especiais são apresentados em FEAM (2010):

- Ligas de níquel → forno elétrico a arco submerso;
- Ligas de ferro-vanádio → processos metalotérmicos ou carbotérmicos;
- Ligas de ferro-nióbio → processo aluminotérmico;
- Ligas de ferro-molibdênio e de ferro titânio → processo metalotérmico;
- Ligas ferro-tungstênio → processo carbotérmico;
- Ligas de ferro-boro → rotas metalotérmica ou carbotérmica.



Ferro-Ligas

Processos

- Forno elétrico a arco submerso:
 - Operação de redução semelhante à siderurgia.
- Processo metalotérmico:
 - Tratamento químico de uma substância mineral pelo emprego de um metal como agente redutor, para a produção de um outro metal de interesse.
- Processo carbotérmico:
 - Tratamento químico de redução de uma substância mineral (óxido) com o emprego do gás CO que tem origem numa substância portadora do elemento carbono – coque ou carvão vegetal – para a produção do metal.
- Processo aluminotérmico:
 - Técnica exotérmica que ocorre com adição de alumínio, que oxida e reduz o metal inicialmente adicionado.



Ferro-Ligas

Consumo Energético

➤ Consumo total e específico:

ITEM	UNIDADE	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
PRODUÇÃO	10 ³ t	1.223	1.401	1.020	1.158	1.204	750	1.109	993	1.045	1.075
CONSUMO TOTAL	10 ³ tep	1.563	1.613	1.613	1.803	1.811	1.447	1.695	1.555	1.565	1.505
CONSUMO TOTAL / PRODUÇÃO FÍSICA	tep/t	1,279	1,152	1,581	1,557	1,505	1,929	1,529	1,566	1,497	1,400
CONSUMO DE ELETRICIDADE	GWh	7.659	7.735	7.703	8.675	8.737	6.749	8.461	7.883	7.741	7.277
CONSUMO DE ELETRICIDADE / PRODUÇÃO	MWh/t	6,265	5,521	7,551	7,490	7,259	8,999	7,630	7,935	7,408	6,771
CONSUMO COMBUSTÍVEIS / PRODUÇÃO	tep/t	0,739	0,677	0,932	0,913	0,880	1,155	0,872	0,883	0,861	0,818

Fonte: EPE (2014).

- 97% do consumo se dá para aquecimento direto;
- Combustíveis: gás natural, lenha, óleo combustível, coque, carvão vegetal, outras fontes secundárias de petróleo.
- Consumo de redutores (2005);
 - Carvão vegetal: 1.048 mil t
 - Coque: 126 mil t
 - Carvão mineral: 12,5 mil t



Ferro-Ligas

Fontes de Informação do Setor

➤ Dados Setoriais – FERRO-LIGAS

ABRAFE. Sítio na Rede Mundial de Computadores. Disponível em: <http://www.abrafe.ind.br>. Acesso em: 25/08/2014.

FEAM. (2010). Levantamento da Situação Ambiental e Energética do Setor de Ferroligas e Silício Metálico no Estado de Minas Gerais, Prospecção de Ações para o Desenvolvimento Sustentável da Atividade - Relatório Técnico. Belo Horizonte: FEAM/DPED/GEDIN.

Kruger, P. (2009). Relatório Técnico 60 - Perfil de Ferroligas. Brasília, DF: MME - Ministério de Minas e Energia.

Leite, A., Bajay, S., & Debonzi, F. (2010). Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria: relatório setorial: ferros-ligas. Brasília:

CNI.

SINDIEXTRA. (12 de 08 de 2014). Sítio na rede mundial de computadores. Fonte: <http://www.sindiextra.org.br/>

➤ BAT – FERRO-LIGAS

EC – European Commission (2011). Integrated Pollution Prevention and Control - Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Non-Ferrous Metals Industries.

Klingspor, M. e Striplle, H. (2008). A Nordic contribution concerning the revision of IPPC reference documento on best available techniques in the non ferrous metals industries. IVL – Swedish Environmental Research Institute.

IEA – International Energy Agency (2014). World energy investments outlook. Special Report. IEA/OECD.

NEDO - New Energy and Industrial Technology Development Organization (2008). Global Warming Countermeasures 2008 Revised Edition - Japanese Technologies for Energy Savings/GHG Emissions Reduction.



Não Ferrosos

Segmentação

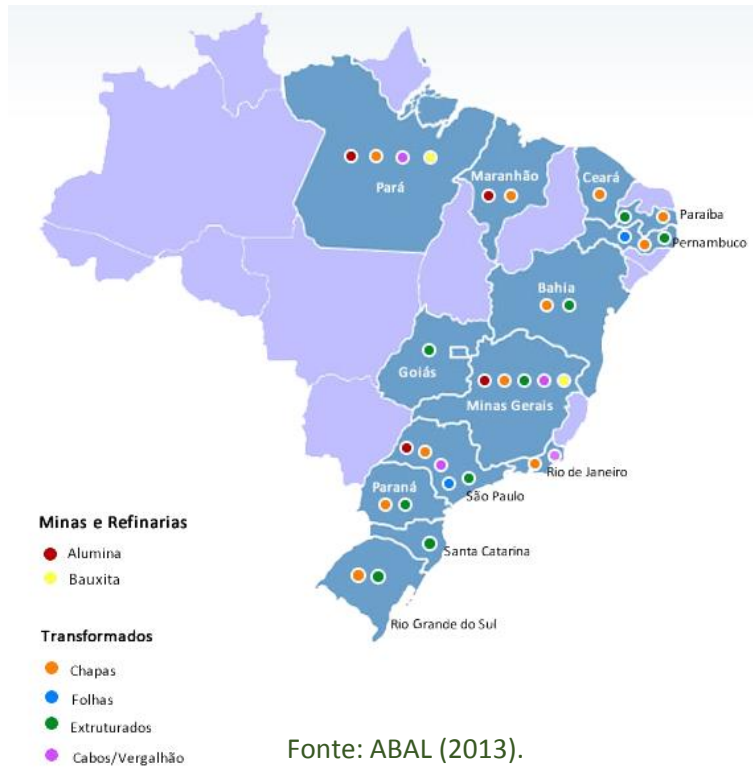
- O setor reúne diferentes subsetores específicos correspondendo à produção primária dos seguintes metais, conforme apresentado em MME (2013):
 - Alumínio: alumina e alumínio primário
 - Chumbo
 - Cobre
 - Estanho
 - Níquel
 - Zinco



Não Ferrosos

Segmentação

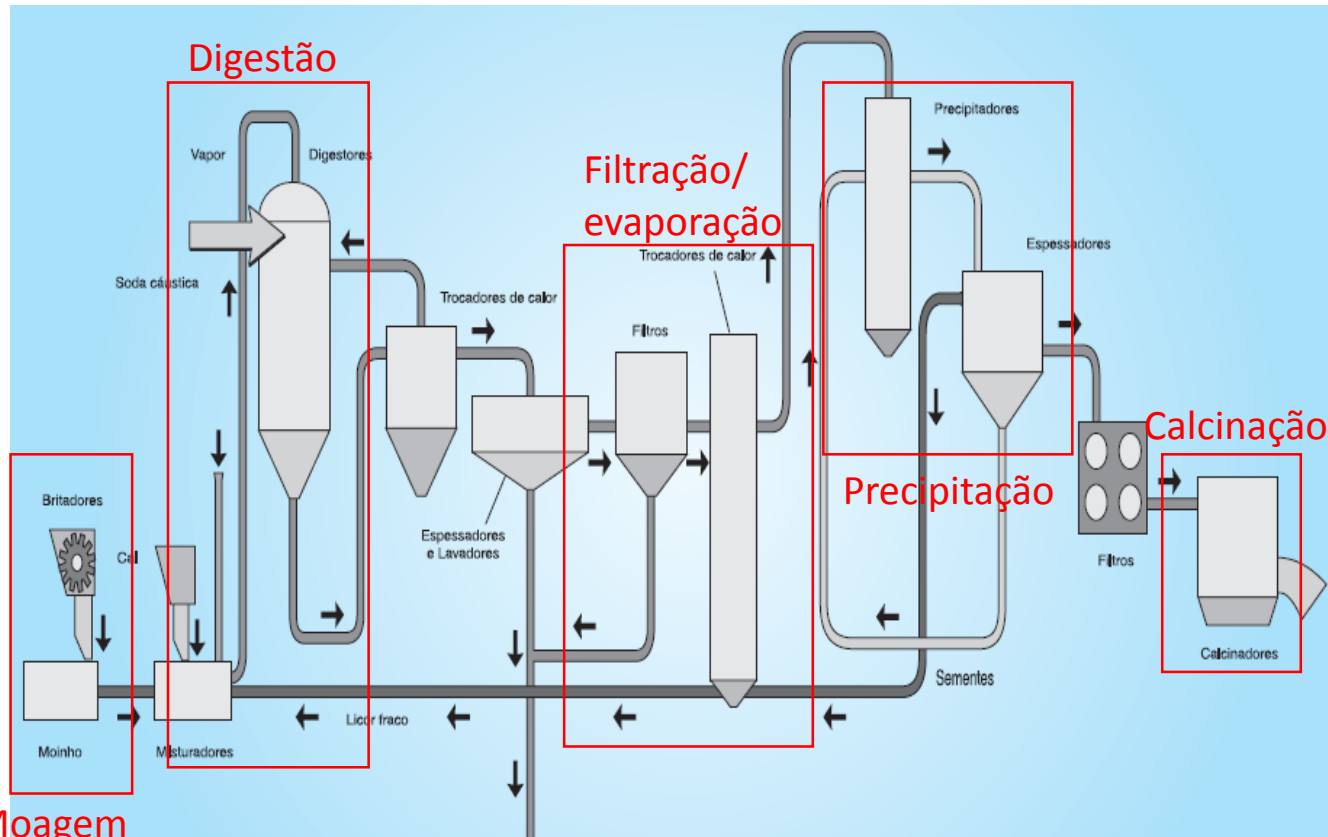
- O setor reúne diferentes subsetores específicos correspondendo à produção primária dos seguintes metais, conforme apresentado em MME (2013):
 - Alumínio: alumina e alumínio primário





Não Ferrosos Processos

➤ Alumina – processo Bayer



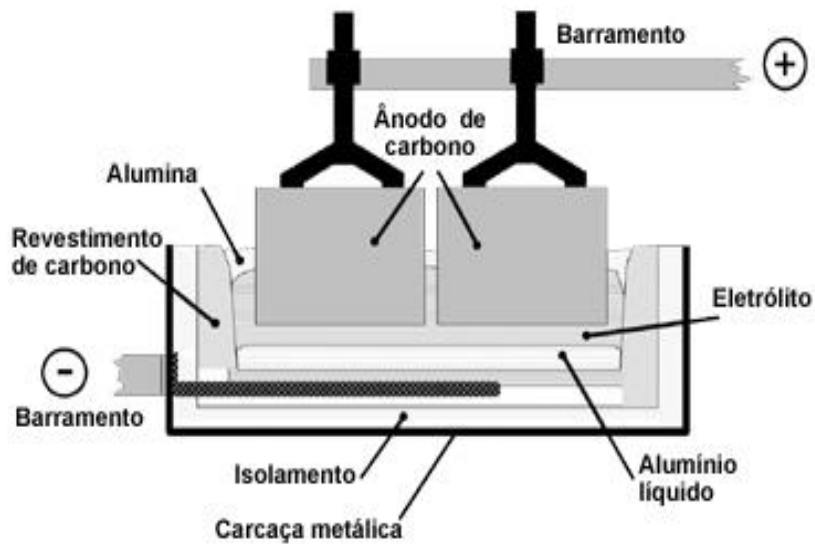
Fonte: ABAL (2013).



Não Ferrosos

Processos

➤ Alumínio primário - processo Hall-Héroult





Não Ferrosos

Consumo Energético

➤ Alumínio

Consumo específico (por ton)

Alumina

Insumo	Quantidade
Bauxita	2,3818 t
Energia elétrica	0,2059 MWh (0,74 GJ)
Óleo combustível	0,0994 t (3,99 GJ)
Soda cáustica	0,1076 t

Fonte: MDIC (2012).

Alumínio

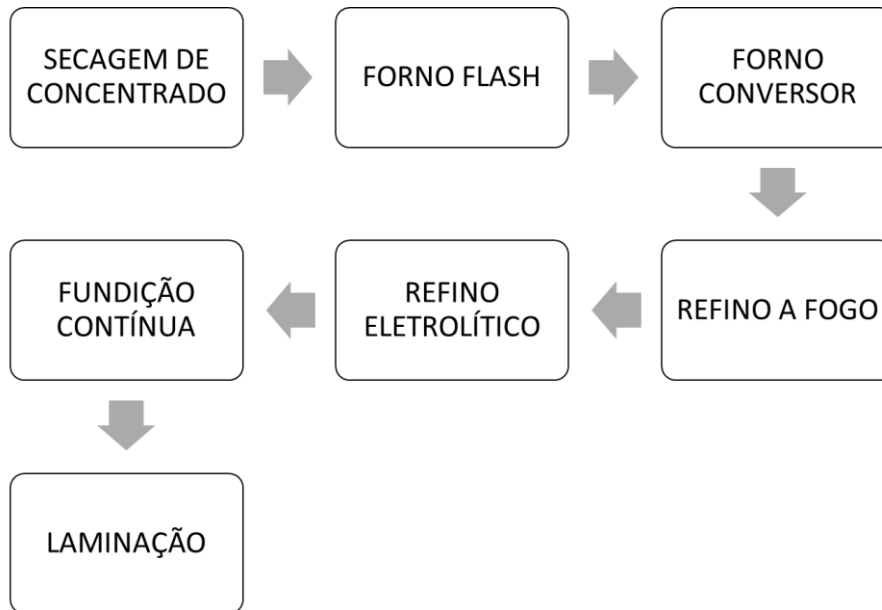
Insumo	Quantidade
Alumina	1,9234 t
Energia elétrica	15,613 MWh (56,21)
Óleo combustível	0,0200 t (0,80 GJ)
Coque	0,3584 t (10,35 GJ)
Piche	0,1122 t
Fluoreto	0,0221 t
Criolita	0,0053 t



Não Ferrosos

Processos

➤ Cobre



A fundição → processo
pirometalúrgico, :

Ustulação: reduzir a
quantidade de enxofre e impurezas
voláteis;

Fusão mática: fusão do
concentrado, formando liga com 45 a
60%;

Conversão: em fornos
conversores, resultando numa liga com
98,5%.

O blister, resultado da fase de
conversão, segue então para refino em
duas etapas:

Pirometalúrgico: aumentar
a pureza do blíster, com produção de
ânodos de pureza de 99,7%;

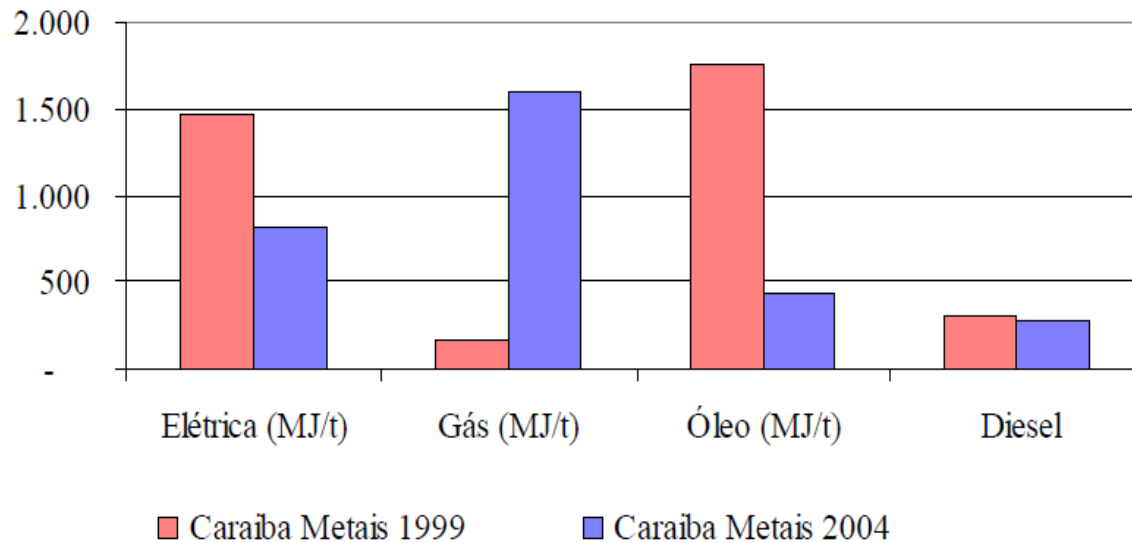
Eletrolítico: dissolução do
cobre dos ânodos através de solução
ácida e depósito com grau 99,99%.



Não Ferrosos

Consumo Energético

➤ Cobre



Fonte: Kogashi (2008).



Não Ferrosos

Fontes de Informação do Setor

➤ Dados Setoriais – NÃO-FERROSOS

ABAL (2014). Sítio na rede mundial de computadores. Fonte: www.abal.org.br. Acesso em 12/08/2014.

ABIFA (2014). Sítio na rede mundial de computadores. Fonte: Índices setoriais: <http://www.abifa.org.br/indices-setoriais/>. Acesso em 26/08/2014.

D'Ávila Filho, B. (2009). Relatório Técnico 61 - Perfil da fundição. Brasília: MME - Ministério de Minas e Energia.

De Farias, J. (2009). Relatório Técnico 64 - Perfil do Níquel. Brasília: MME - Ministério de Minas e Energia.

De Lima, J. (2009). Relatório Técnico 67: Perfil do Estanho. Brasília: MME - Ministério de Minas e Energia.

Dos Santos, J. (2009). Relatório Técnico 65 - Perfil do Zinco. Brasília: MME - Ministério de Minas e Energia.

IBRAM (2012). Informações e análises da economia mineral brasileira. Rio de Janeiro: IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração.

IEA – International Energy Agency (2007). Tracking industrial energy efficiency and CO2 emissions. Paris: IEA - International Energy Agency.

Mineral Data (2014). Sítio na rede mundial de computadores. Fonte: Séries históricas do setor mineral brasileiro:

http://mineraldata.cetem.gov.br/mineraldata/app/*. Acesso em 25/08/2014.

➤ BAT – NÃO-FERROSOS

EC – European Commission (2014). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries. Final Draft. EC Joint Research Centre.

EC – European Commission (2001). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries.

EPA – U.S. Environmental Protection Agency (2007). Energy Trends in Selected Manufacturing Sectors: Opportunities and Challenges for Environmentally Preferable Energy Outcomes.



Química

Segmentação

➤ Segmentação CNAE/ABIQUIM:

GRUPOS DE PRODUTOS, CONFORME CNAE
FABRICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS INORGÂNICOS • Fabricação de cloro e álcalis • Fabricação de intermediários para fertilizantes • Fabricação de outros produtos inorgânicos
FABRICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS ORGÂNICOS • Fabricação de produtos petroquímicos básicos • Fabricação de intermediários para resinas e fibras ◦ <i>Intermediários para plásticos</i> ◦ <i>Intermediários para plastificantes</i> ◦ <i>Intermediários para resinas termofixas</i> ◦ <i>Intermediários para fibras sintéticas</i> • Fabricação de outros produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente ◦ <i>Corantes e pigmentos orgânicos</i> ◦ <i>Solventes industriais</i> ◦ <i>Intermediários para detergentes</i> ◦ <i>Plastificantes</i> ◦ <i>Outros produtos químicos orgânicos</i>
FABRICAÇÃO DE RESINAS E ELASTÔMEROS • Fabricação de resinas termoplásticas • Fabricação de resinas termofixas • Fabricação de elastômeros
FABRICAÇÃO DE PRODUTOS E PREPARADOS QUÍMICOS DIVERSOS • Fabricação de adesivos e selantes • Fabricação de aditivos de uso industrial

Fonte: ABIQUIM (2013).



Química

Segmentação

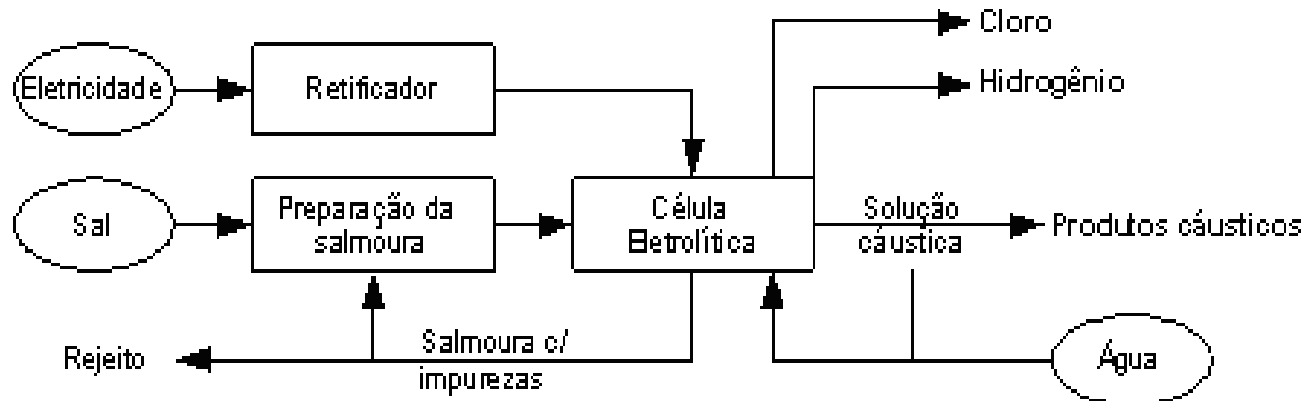
- Priorização de setores e produtos: capacidade produtiva x intensidade energética
- Cloro-soda
 - Grande integração de processos, valores de consumo específico podem referir-se apenas à produção de cloro. Englobam também: hidróxido de sódio, cloro, ácido clorídrico, Hipoclorito de sódio, Diclorometano, cloreto de vinila, hidróxido de potássio, clorato de sódio, dióxido de cloro.
- Fertilizantes
 - Inclui: amônia, ácido fosfórico, ácido nítrico, ácido sulfúrico, fosfatos de amônio; nitrato de amônio, sulfato de amônio; uréia.
- Petroquímicos
 - Inclui: eteno, propeno, butadieno, BTX, metanol, cloreto de Vinila, dicloroetano, estireno, formaldeído, ácido tereftálico, óxido de eteno, etilenglicól, polietileno, polipropileno, policloreto de vinila, politereftalato de etileno, poliestireno, borracha de estireno-butadieno.



Química

Processos

➤ Cloro-soda



Fonte: Worrel et al. (2000).

➤ Reação química:

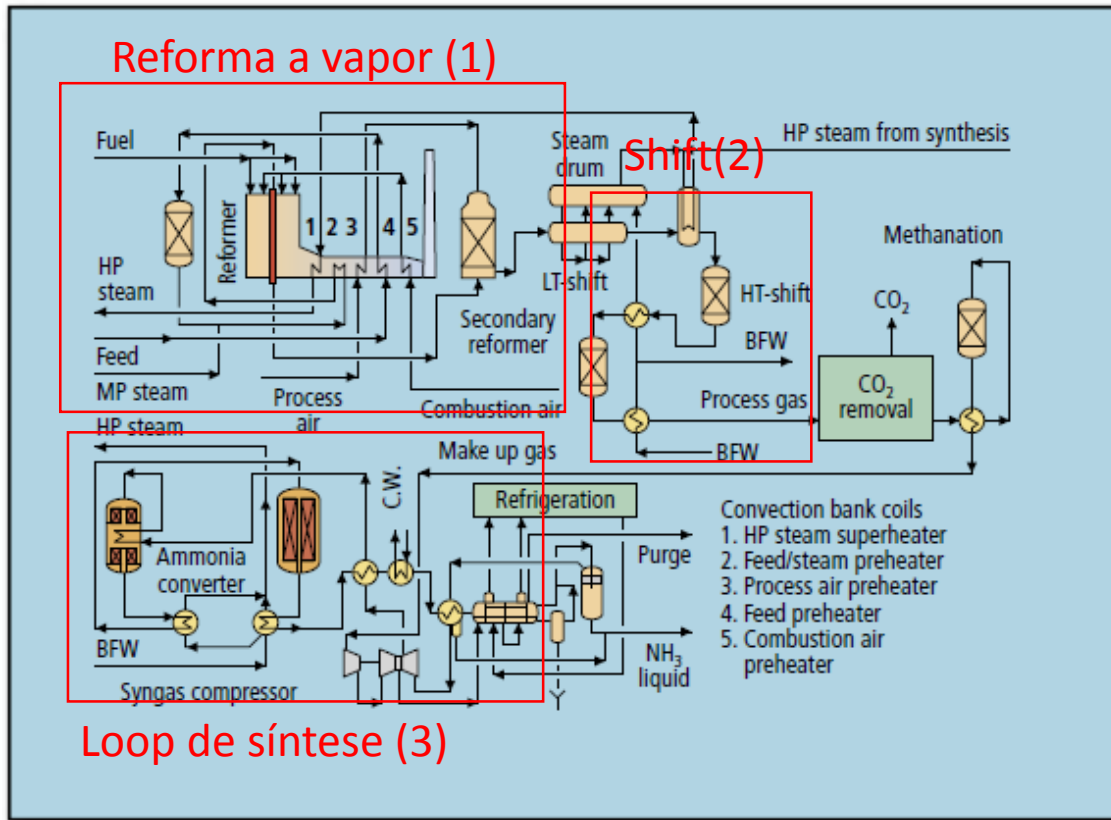


- Três tipos de células eletrolíticas: de mercúrio, de diafragma e de membrana iônica seletiva. Todas possuem fluxo de processo semelhante, porém, por suas especificidades, possuem demandas energéticas distintas.



Química Processos

➤ Amônia: processo Haber-Bosch



Reação química:

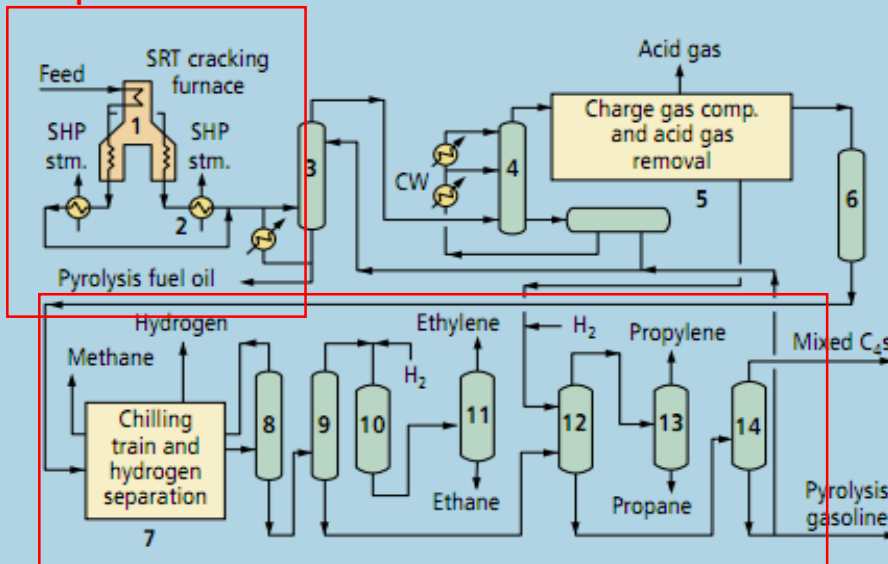




Química Processos

➤ Petroquímicos básicos

Craqueamento



Etapas de separação e purificação

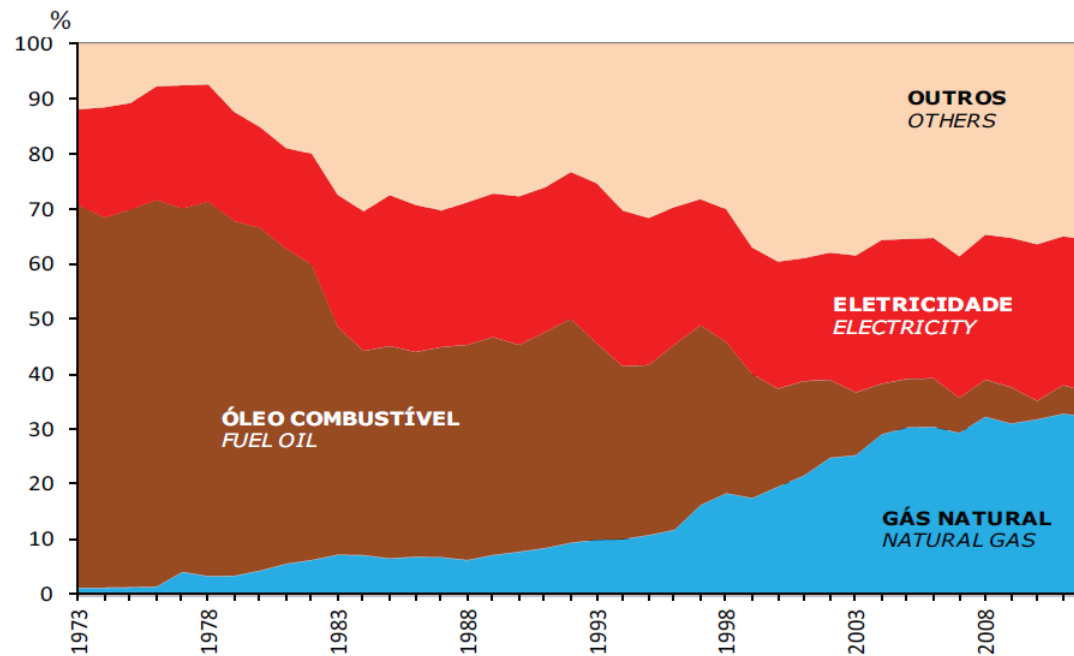
- Fluxograma guarda particularidades de acordo com insumo (gás natural, nafta, resíduos pesados de petróleo, etc).



Química

Consumo energético

➤ Por fonte:





Química

Consumo energético

➤ Específico por produto:

GJ/t Cl ₂	Energia Térmica	Energia Elétrica	Total
Retificador	0	0,28	0,28
Preparação da Salmoura	0,02	0	0,02
Uso da Célula	0	13,63	13,63
Concentração do NaOH	3,42	0	3,42
Resfriamento do NaOH	0	0,27	0,27
Resfriamento e Secagem do H ₂	0	0,58	0,58
Resfriamento e Secagem do Cl ₂	0	0,39	0,39
Compressão do Cl ₂	0	0,63	0,63
Total	3,45	15,78	19,23

Fonte: Worrel et al. (2000).

GJ/t	Energia Elétrica	Calor
Matéria-prima do Reformador	-	20,4
Combustível do Reformador	-	9,9
Reformador Primário	-	4,8
Reformador Secundário	-	0
Caldeira de Recuperação	-	-5,6
Shift + Remoção de CO ₂	0,2	1,2
Metanador	-	0,3
Loop de Síntese	0,2	-2
Caldeira Auxiliar	-	0,6
Turbinas e Compressores	-	5,5
Outros	0,1	0,3
Flare	-	0,3
Total	0,5	35,7

Unidade de Processo (GJ/t eteno)	Consumo específico (GJ/t)
Craqueamento	11
Calor de Reação	5,4
Diluição do Vapor	1,4
Aquecimento + Perdas	4,2
Compressão	5,2
Separação	7,3
Chiller	5
Condensador	3,8
Separador do Etano	1,2
Vapor	2,3
Remoção de Acetileno	0,7
Separação de pesados	1,6
Consumo Específico Total	23,5

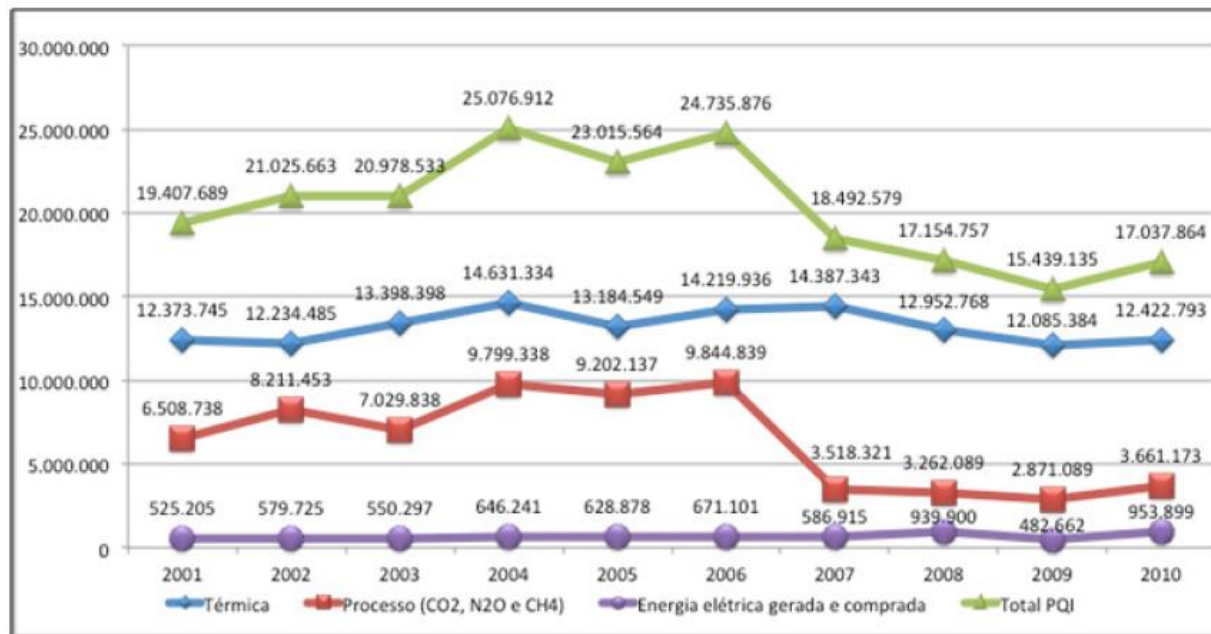
Obs: não inclui matéria-prima!!!



Química

Emissões de GEEs

- Emissões totais do setor em tCO₂eq:



Fonte: ABDI (2012).

Química

Emissões de GEEs por produto (2006)

Fonte: A partir de Bajay et al. (2010).

Cloro	Energia Térmica		Eletricidade				
	Vapor de Processo		Força Motriz	Refrigeração	Eletrólise	Total	
Consumo Energético - GJ	8.112.857		196.998	169.741	13.574.715	22.054.311	
Emissões de CO ₂ - t	516.701		6.363	5.483	438.463	967.010	
Emissões de CH ₄ - t	434		-	-	-	434	
Emissões de N ₂ O - t	906		-	-	-	906	
Emissões totais - tCO ₂ eq	797.422		6.363	5.483	438.463	1.247.731	

Amônia	Energia Térmica			Eletricidade			
	Aquec. Direto	Calor de Processo	Força Motriz	Força Motriz	Refrig.	Processo	Total
Consumo Energético - GJ	13.057.536	1.903.033	3.881.475	1.489.776	496.578	-	20.828.399
Emissões de CO ₂ - t	708.098	121.203	260.833	48.120	16.039	1.967.711	3.122.005
Emissões de CH ₄ - t	2.314	102	28	-	-	-	2.444
Emissões de N ₂ O - t	2.032	212	68	-	-	-	2.312
Emissões totais - tCO ₂ eq	1.371.476	187.051	281.805	48.120	16.039	1.967.711	3.872.203

Petroquímicos Básicos	Energia Térmica		Eletricidade		
	Aquecimento Direto	Vapor de Processo	Força Motriz	Processo	Total
Consumo Energético - GJ	56.088.675	223.251	3.801.168	-	60.113.094
Emissões de CO ₂ - t	3.041.638	14.219	122.778	6.001	3.184.635
Emissões de CH ₄ - t	9.942	12	-	12.208	22.162
Emissões de N ₂ O - t	8.728	25	-	-	8.753
Emissões totais - tCO ₂ eq	5.891.180	21.944	122.778	18.209	6.054.110



Química

Medidas específicas típicas

Fonte: A partir de Bajay et al. (2010).

- Cloro-soda
 - Adoção da tecnologia de membrana
- Fertilizantes e metanol
 - Novos processos de reforma, como reforma auto-térmica
- Petroquímica
 - Novos catalisadores
 - Novos materiais para serpentinas do forno de craqueamento



Química

Fontes de Informação do Setor

➤ Dados Setoriais – QUÍMICA

- ABDI, 2012. Subsídios para a Elaboração de uma Estratégia Industrial Brasileira para Economia de Baixo Carbono. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, MDIC.
- ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química), 2013. Anuário da Indústria Química Brasileira 2012.
- BAJAY, S. V., et al. Oportunidades de eficiência energética para indústria: setor químico / sérgio Valdir Bajay, andré Beissmann, filipe debonzi gorla. – Brasília: CNI, 2010. 182 p. isBn 978-85-7957-005-6.
- CEPED [Centro de Pesquisas e Desenvolvimento] MEIQ – Manual Econômico da Indústria Química – 8ª ed. Vol. I (Produtos Orgânicos), ISBN 85-207-0004-7, Camaçari/BA, 2006.
- FANTI, O.D., 2010. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS PROCESSOS INDUSTRIAIS: INDÚSTRIA QUÍMICA. Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM.
- IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). Tracking Clean Energy Progress 2013. IEA Input to the Clean Energy Ministerial. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 2013.

➤ BAT – QUÍMICA

- DOE (U.S. Department of Energy), 2011. FUJIFILM Hunt Chemicals U.S.A. Achieves Compressed Air System Energy-Reduction Goals with a Three-Phased Strategy. Industrial Technologies Program. Energy Efficiency and Renewable Energy. U.S. Department of Energy, Washington D.C., EUA
- DOE (U.S. Department of Energy), 2005 Solutia: Massachusetts Chemical Manufacturer Uses SECURE Methodology to Identify Potential Reductions in Utility and Process Energy Consumption. Chemicals Best Practices Plant-Wide Assessment Case Study. Industrial Technologies Program. Energy Efficiency and Renewable Energy. U.S. Department of Energy, Washington D.C., EUA
- DOE (U.S. Department of Energy), 2003. Bayer Polymers: Plant Identifies Numerous Projects Following Plant-wide energy-efficiency Assessment. Best Practice Plant-wide Assessment Case Study. Industrial Technologies Program. Energy Efficiency and Renewable Energy. U.S. Department of Energy, Washington D.C., EUA.
- EC [European Comission]; 2006. Reference document on best available techniques for the manufacture of organic fine chemicals. Relatório conjunto da EC e indústria referente ao tema integrated pollution prevention and control.
- EC (EUROPEAN COMMISSION). Reference Document on Best Available Techniques in the Production of Polimers, 2007.
- NEELIS *et al.*, 2008. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Petrochemical Industry. An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers. Environmental Energy Technologies Division. Sponsored by the U.S. Environmental Protection Agency. 1995
- WORRELL, Ernst, PHYLIPSEN, Dian, EINSTEIN, Dan, MARTIN, Nathan, Energy use and energy intensity of the U.S. chemical industry, patrocinado por U.S. EPA e U.S. DOE, acessível em <http://ies.lbl.gov/iespubs/44314.pdf>, Energy Analysis Department / UCLA, Berkeley/CA/EUA, abril, 2000.



Medidas de Mitigação

Classificação

- Transversais: aplicáveis a diversos setores.
 - De operação: implica em mudança no modo de operação de uma planta industrial.
 - De equipamento: implica na troca de equipamento dentro de uma unidade industrial.
 - De combustível: implica na adaptação de uma planta industrial para que adote um insumo combustível alternativo.
- Específicas: aplicáveis apenas em um setor/processo produtivo específico.
 - Incrementais: implica em mudanças de processo mais modestas e específicas de uma linha produtiva, em geral ocasionada por inovações incrementais.
 - Novos processos: implica em mudanças estruturais profundas na planta industrial para receber um processo significativamente diferente do habitualmente utilizado. Constituem grandes saltos de inovação tecnológica.



Medidas de Mitigação

Descrição

- Medidas transversais de operação:
 - Controle da razão ar/combustível em queimadores

Caldeiras devem ser alimentadas com excesso de ar para garantir a combustão completa e para reduzir a presença de monóxido de carbono nos gases de escape, porém quando o excesso é acima do adequado, energia é desperdiçada e o calor acaba sendo transferido para a atmosfera ao invés de ser transferido para o vapor. Sendo assim, o ideal é que as caldeiras trabalhem com cerca de apenas 15% de excesso de ar (em torno de 3% de excesso de oxigênio).

Esta medida pode ser realizada pela calibração do sistema de queima ou pela troca do queimador.

- ❖ Potencial de eficiência: redução superior a 2% do consumo de combustível na caldeira.

Aplicável a qualquer setor que use caldeiras para geração de vapor.



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas transversais de operação:

➤ Recuperação de Calor

Reduz a demanda de combustível para a geração de vapor ou aquecimento a partir do aproveitamento de correntes de processo a alta temperatura, seja a partir do exausto de caldeiras ou do calor residual de fornos.

Utilizam-se trocadores de calor (*economizers*) para reduzir a temperatura dos gases de combustão que deixam a zona de superaquecimento da caldeira.

São localizados no canal dos gases de exaustão, resfriando-os pela água de alimentação da caldeira que, dessa forma, é pré-aquecida.

No caso de fornos, a opção de pré-aquecimento da água de reposição não mais existe, sendo substituída pela secagem e/ou pré-aquecimento de materiais diversos, incluindo a própria carga admitida ao forno.

❖ Potencial de eficiência: até 10% do consumo de combustível do equipamento.

Aplicável a qualquer setor que use caldeiras e fornos.



Medidas de Mitigação

Descrição

- Medidas transversais de operação:
 - Controle variável de velocidade em motores:

Válvulas ASD são recomendados para ajustar a velocidade conforme a carga requerida na operação, quando o consumo energético em sistemas centrífugos é aproximadamente proporcional ao cubo da vazão. Sendo assim, uma pequena modificação na vazão que seja proporcionável à velocidade do motor pode promover uma quantidade razoável de conservação energética.

- ❖ Potencial de eficiência: entre 20 % e 50 % do consumo de energia do equipamento.

Aplicável a quaisquer setor que use motores.



- Outras medidas transversais de operação típicas:
 - Monitoramento, controle e gerenciamento energético;
 - Manutenção preventiva de caldeiras, fornos, motores e linhas de distribuição de utilidades;
 - Sistema de controle para queima estequiométrica;
 - Integração energética pinch;
 - Isolamento térmico;
 - Etc.



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas transversais de equipamento:

➤ Adoção de queimadores Low No_x

A substituição de queimadores antigos por queimadores modernos e mais eficientes pode levar a economias significativas de energia.

Queimadores Low Nox são queimadores que possuem maior precisão na queima de combustível, aproximando-a da estequiométrica e reduzindo o consumo energético. A finalidade principal, no entanto, é regular a emissão de Nox (poluente local).

❖ Potencial de eficiência: pode reduzir o uso de combustível em caldeiras de fábricas em cerca de 2,4 %.

Aplicável a quaisquer setor que use caldeiras.



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas transversais de equipamento:

➤ Adoção de motores de alto desempenho:

O motor elétrico de alto rendimento produz a mesma potência mecânica de saída do motor *standard* com menor potência elétrica absorvida, resultando na redução do custo de operação e aumento da vida útil.

Este melhor desempenho é conseguido através das características técnicas diferenciadas, como maior quantidade de cobre: reduz as perdas por efeito Joule; enrolamento em dupla camada, resultando em melhor dissipação de calor; redução do atrito com o ar através de melhorias aerodinâmicas no rotor e, principalmente, na ventoinha.

Será mais comumente aplicada a sistemas relativamente antigos, pois aqueles com menos de 10 anos, muito provavelmente, já empregam motores de alto rendimento.

- ❖ Potencial de eficiência: 1% a 4% do consumo de eletricidade para acionamento mecânico, ou cerca de 0,5% a 2,5% do consumo total de eletricidade.

Aplicável em qualquer setor que utilize motores dentro de especificações adequadas.



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas transversais de combustíveis:

➤ Substituição de óleo combustível por gás natural:

A conversão de caldeiras a óleo por gás natural não exige mudanças estruturais, e quase sempre é possível instalar os queimadores de gás 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.

A conversão ao gás natural resulta, normalmente, em um pequeno aumento de rendimento, devido à redução do excesso de ar e pela menor deposição de cinzas sobre as superfícies. Dependendo do tipo de caldeira, a temperatura do vapor superaquecido poderá manter-se ou aumentar.

❖ Potencial de eficiência: rendimento total da caldeira aumenta em cerca de 3 a 4%.

Aplicabilidade: bastante difundida no setor de mineração e pelletização. Aplicável também na indústria têxtil.



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas transversais de combustíveis:

➤ Gasificação de pneus (setor cimento):

A indústria cimenteira japonesa solucionou o problema da disposição ilegal dos pneus usados, utilizando-os como um combustível substituto desde a década de 80. Estes pneus usados podem ser gasificados como estiverem ou depois da trituração. No forno de gasificação, eles são aquecidos e o gás produzido pela sua decomposição térmica pode ser usado em fornos ou no calcinador como um combustível substituto.

❖ Potencial de eficiência: Energia térmica a partir dos resíduos dos pneus é de aproximadamente 25 a 29 MJ/kg. Combustíveis fósseis, para a mesma quantidade de calor, podem ser economizados.

Aplicável a fornos, no trabalho foi mencionada como BAT para o setor de cimento.



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas transversais de combustíveis:

- Cogeração (intersseccional em relação às medidas transversais): operação + combustível:

Onde calor ou vapor de processo, refrigeração e eletricidade são utilizados, plantas de cogeração se mostram mais eficientes do que plantas de geração normais por utilizarem o calor perdido de processo. A cogeração permite o uso de combustíveis gerados ao longo do processo para a produção de energia elétrica, reduzindo os custos de aquisição de eletricidade e a dependência da operação do grid. Em alguns casos, é possível, inclusive, gerar energia elétrica em quantidades superiores à demanda interna da unidade industrial, levando a receitas por exportação ao grid.

- ❖ Potencial de redução: Depende do dimensionamento da planta de cogeração.

Aplicável na produção dos seguintes produtos: processos para produtos que geram calor residual, o qual pode estar disponível para cogeração. Tecnicamente, praticamente todas as indústrias podem adotar a cogeração de energia, mas, dado o baixo retorno deste tipo de investimento no Brasil, estão sendo desconsiderados os casos em que o combustível da planta de CHP é de fonte externa e mesmo as com combustível residual, pois este costuma ter usos mais rentáveis.



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas específicas incrementais:

- Processo via seca com múltiplos estágios de preaquecedores e pré-calcinadores (cimento):

Estes estágios utilizam o calor residual do forno e do resfriador do clínquer para preaquecer e pré-processar a alimentação do forno;

Um preaquecedor consiste numa série de ciclones verticais nos quais o material passa em contracorrente com os gases de exaustão do forno, assim o calor é transferido do gás quente para a farinha crua, que é preaquecida e parcialmente calcinada (30%), antes de entrar no forno. Quanto maior o número de estágios do ciclone, maior a quantidade de calor recuperada.

- ❖ Potencial de eficiência: a economia de combustível desta tecnologia pode chegar a 3 GJ/ t clínquer e o consumo elétrico pode aumentar para 9 kWh/ t clínquer.

Processo	Consumo de energia (GJ/t clínquer)
Via úmida	5,9 - 6,7
Via seca	4,6
1 estágio preaquecedor	4,2
2 estágio preaquecedor	3,8
3 estágio preaquecedor	3,3
4 estágio preaquecedor	3,1
5 estágio preaquecedor	3,0 - 3,1
6 estágio preaquecedor	2,9

Fonte: FLSMidth (2006)



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas específicas incrementais:

➤ Matéria-prima não carbonatada para a produção de cimento:

Utiliza fontes de cálcio não carbonatadas (carboneto de escória) para substituir parcialmente o calcário como matéria-prima para a produção de cimento.

Carboneto de escória é um resíduo sólido gerado na produção industrial de petroquímicos.

A maior parte do carboneto de escória é composto por Ca(OH)_2 e produz CaO e H_2O , sem emissão de CO_2 ,

A utilização deste resíduo requer pré-tratamento por secagem e moagem e mistura com o restante das matérias-primas (como arenito, argila, calcário e etc). Após este tratamento, segue-se o fluxo convencional do processo.



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas específicas incrementais:

➤ Adição de pozolana ao cimento:

Reduz a quantidade de clínquer no cimento, assim as emissões de CO₂ proveniente da combustão e da calcinação são reduzidas.

A produção do cimento com pozolana envolve seu pré-tratamento como secagem, moagem e mistura ao clínquer. O consumo elétrico é menor devido a melhor moabilidade da maioria das pozolanas, se comparado ao clínquer substituído. O consumo térmico da produção de cimento se reduz quase linearmente com o aumento da proporção de pozolana.

Já para a produção da pozolana calcinada, há uma maior demanda de energia para a sua calcinação.

- ❖ Potencial: a energia térmica se reduz entre 0 a 600 MJ/ t cimento e a elétrica se reduz entre 0 a 25 kWh/t cimento. É possível uma redução das emissões de 0,52 tonelada de CO₂ por tonelada de clínquer substituído por pozolana.



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas específicas incrementais:

- Adoção de novos catalisadores para intensificação de processos (química):
Em um parque químico moderno como o brasileiro, cerca de 80% da produção total depende de catalisadores para manter sua competitividade.
A pesquisa de novos catalisadores é contínua e intensa no Brasil e no mundo. Na produção em grande escala, geralmente não basta trocar o catalisador, sendo necessário alterar ou substituir o reator ou mesmo o processo.
Aumenta-se a taxa de conversão e/ou seletividade das reações químicas, reduzindo indiretamente o consumo específico de energia.
- ❖ Potencial de redução: Indeterminado. Cerca de 20% do consumo de energia total (eletricidade e combustíveis) para a produção de eteno e 6% utilizando, na produção de amônia, a tecnologia da KBR (KAAP) no lugar do catalisador de ferro.



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas específicas incrementais:

➤ Utilização de aditivos na polpação química (papel e celulose):

A utilização de aditivos na polpação química pode aumentar a penetração do licor e promover um maior cozimento.

Sendo assim, pode-se alcançar um maior rendimento de polpa, um menor consumo energético por tonelada de polpa, menores demandas por matérias-primas e melhores taxas de produtividade.

A viabilidade financeira desta medida é normalmente determinada comparando-se os custos com os aditivos com as economias em fibra projetadas.

Normalmente, compostos de antraquinona são utilizados como aditivos de polpação química. Há novas alternativas, como o fosfanato.

❖ Potencial de eficiência: Poupanças de energia foram estimadas em 8-10%, e aumentos de rendimento foram estimados em 4-6%.



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas específicas de novos processos:

➤ Novos processos de fusão redutora (siderurgia):

Processos de fusão redutora, como Aumelt, Ausiron, HIs melt, CCF, DIOS e COREX, consistem na pré-redução do minério de ferro por gases provenientes de um banho quente (hot bath). O ferro pré-reduzido é então fundido no banho quente, sendo o excesso de gás produzido utilizado para a produção de potência elétrica, produção de DRI (direct reduced iron) ou como gás combustível. Dessa forma, a fusão redutora elimina a necessidade do uso de coque e sinter, e processos em desenvolvimento ainda buscam eliminar a necessidade de preparação do minério de ferro.

Características principais:

- ✓ Baixo custo de investimento e operação o 5-35% abaixo do custo de produção da rota convencional (Alto-forno).
- ✓ Uso direto de minério de ferro e carvão térmico.
- ✓ Não possui coqueria, sinterização e pátios de mistura.
- ✓ Forno único com recuperação direta da energia residual.



Medidas de Mitigação

Descrição

➤ Medidas específicas de novos processos:

➤ Novos processos em fornos elétricos a arco (siderurgia):

O preaquecimento da sucata pode reduzir o consumo de eletricidade dos fornos elétricos a arco. Inúmeros sistemas vêm sendo desenvolvidos nos EUA e Europa: Consteel tunnel-type preheater, Fuchs Finger Shaft, Fuchs Twin Shaft e Post Combustion Shaft Furnace (SIMETAL). Todos os sistemas são desenvolvidos para serem utilizados em usinas novas ou já existentes.

Características principais do Consteel:

- ✓ Aumento da produtividade em 33%.
- ✓ Redução do consumo dos eletrodos em 40%.
- ✓ Redução de emissões na ordem de 30%
- ✓ Redução do consumo de eletricidade em 60 kWh/t para retrofits

Características principais do SIMETAL:

- ✓ Economia de eletricidade de 120 kWh/tonelada de aço.
- ✓ Redução do consumo dos eletrodos.
- ✓ Aumento da produtividade em 20%.



Medidas de Mitigação

Descrição

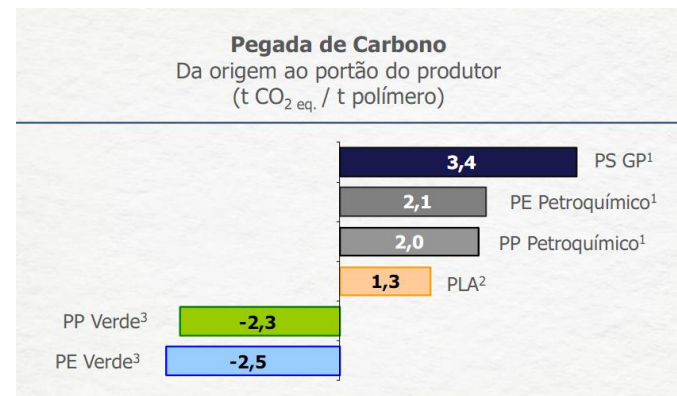
- Medidas específicas de novos processos:
 - Polietileno verde (química):
 - A substituição da rota de produção fóssil pela rota renovável no Brasil é vantajosa considerando-se que a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar é referência na setor de biocombustíveis pela sua grande eficiência energética.
 - Utiliza-se a desidratação do etanol em fase vapor por meio de reatores em leito fixo ou leito fluidizado, majoritariamente com catalisadores de alumina. Esta rota substitui o craqueamento catalítico da nafta ou do etano.

A reação principal objetivada na desidratação do etanol é:



A vantagem desta rota se dá nas emissões de gases de efeito estufa, que são significativamente reduzidas pela renovabilidade da matéria-prima empregada.

As emissões de processo são completamente mitigadas e o consumo energético da etapa de desidratação é inferior ao da etapa de craqueamento.





Principais fontes de informação

- Indústria Brasileira
 - EPE
 - MME
 - IBGE
 - MCTI

- Medidas de mitigação e eficiência – BAT – já mencionadas nas descrições setoriais.
 - Publicações e relatórios técnicos DOE U.S.
 - Publicações e relatórios técnicos EPA U. S.
 - Publicações e relatórios técnicos da união europeia - EC
 - Associações setoriais específicas.



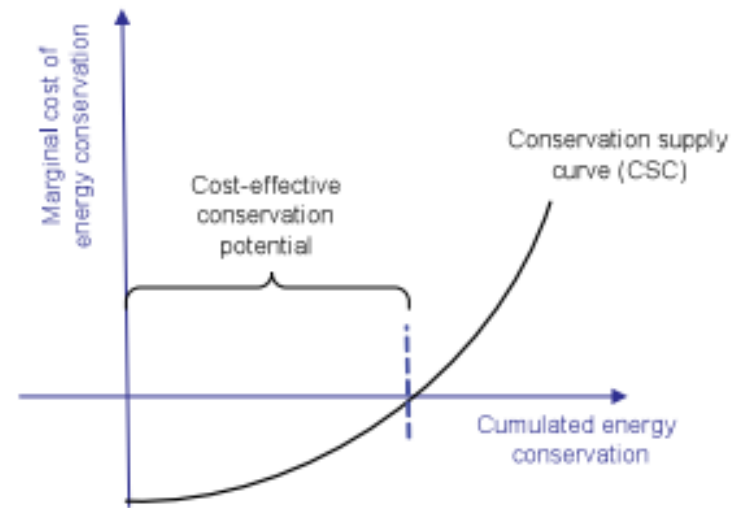
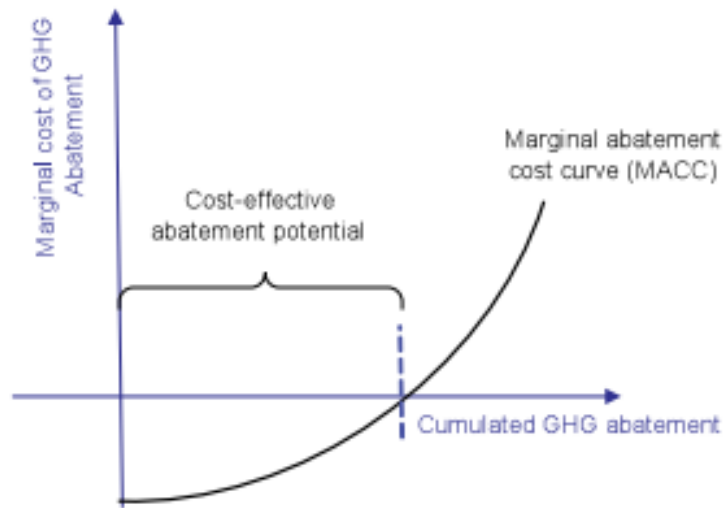
A Curva de Custo Marginal de Abatimento

- Custo marginal de abatimento: custo incorrido para que seja abatida uma unidade de gás de efeito estufa → \$/tCO₂e.
- A curva de custo marginal de abatimento (*Marginal Abatement Cost Curve - MACC*) é uma forma prática de se identificar as opções tecnológicas disponíveis, seus custos e seus potenciais de mitigação.
- A MACC apresenta os custos extras, ou marginais, atrelados a potenciais de redução de emissões em relação a uma linha de base.
- Linha de base: cenário que reflete as escolhas tecnológicas e de comportamento em circunstâncias correntes, usuais (*business as usual – BAU*), desconsiderando, portanto, quaisquer intervenções de cunho mitigatório (políticas de baixo carbono).
- MACC pode ser sobre o futuro, não sobre o presente, e por isso pode ter opções tecnológicas inexistentes na linha de base.



A Curva de Custo Marginal de Abatimento

- Lógica semelhante ao custo de conservação de energia:



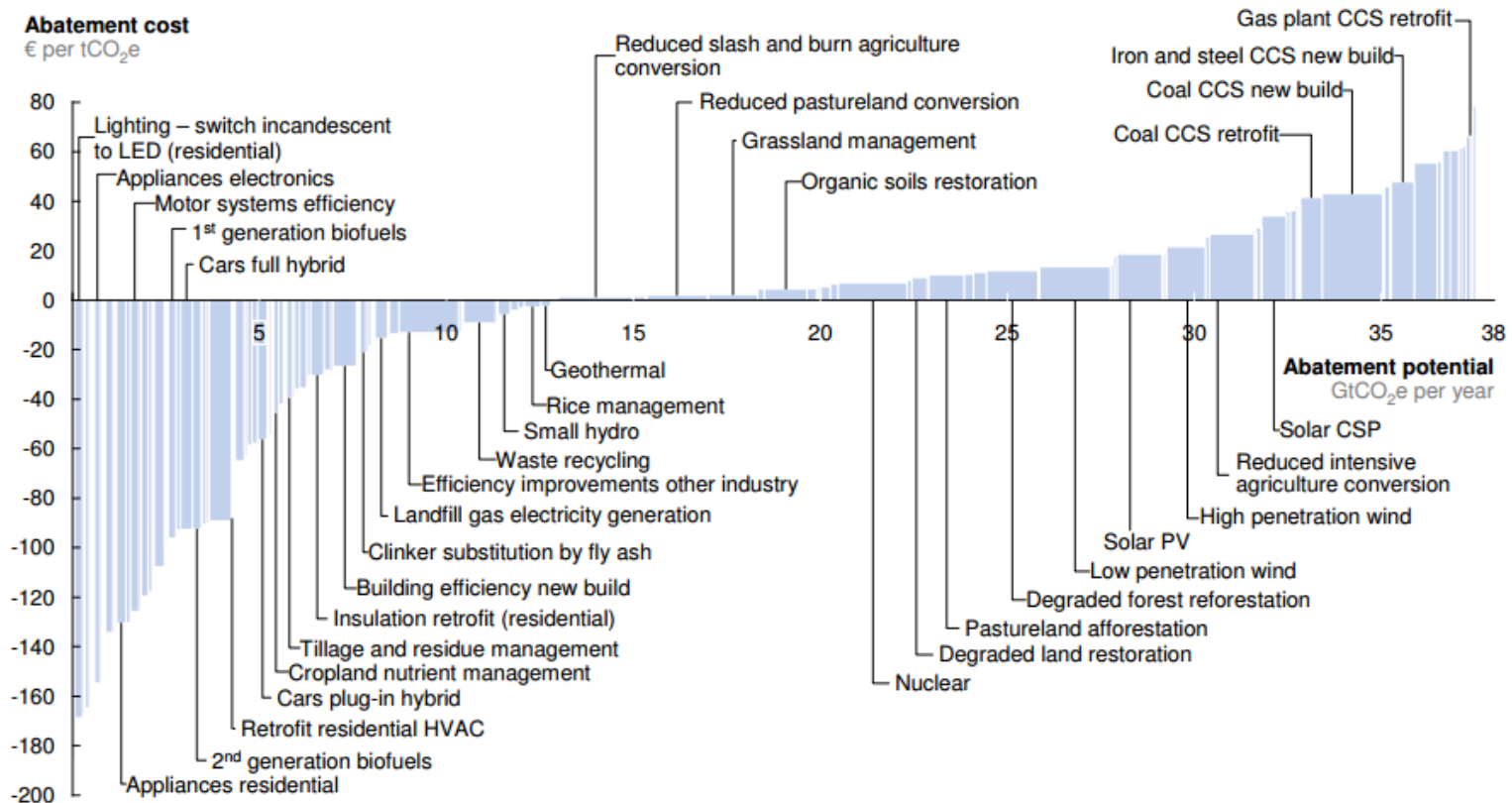
Fonte: Fleiter et al. (2009).

- Um ponto na curva representa o custo marginal para se abater uma unidade adicional de GEE.
- A área abaixo da curva indica o custo total de abatimento da quantidade q de GEE.



A Curva de Custo Marginal de Abatimento

➤ MACC Global de McKinsey&Co. (2010):





A Curva de Custo Marginal de Abatimento

- Como calcular o custo marginal de abatimento?
 - Parâmetros a definir:
- Escala de análise: empresa, setor, país, etc...
- Período de análise e ano base: 2010-2050.
- Linha de base: conformação atual (ou BAU) do objeto de análise.
- Levantar opções de mitigação disponíveis dentro do horizonte de análise:
 - Parâmetros técnicos:
 - ✓ Ganhos de eficiência;
 - ✓ Insumos utilizados.
 - Parâmetros econômicos:
 - ✓ Custos de investimento (equipamentos, novo sistema, nova unidade, etc);
 - ✓ Custos de operação e manutenção (fixos e variáveis);
 - ✓ Custos de combustíveis;
 - ✓ Custo do carbono;
 - ✓ Receitas.



A Curva de Custo Marginal de Abatimento

➤ Como calcular o custo marginal de abatimento?

Parâmetros a definir:

- Parâmetros financeiros:
 - ✓ Vida útil do projeto;
 - ✓ Taxa de desconto: social ou privada?
- Parâmetros ambientais:
 - Emissões de gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 , N_2O , etc...) evitadas.

A partir dos dados levantados:

- Obter potencial de mitigação para cada opção tecnológica;
- Obter custo marginal de abatimento para cada opção tecnológica;
- Montar curva de custo marginal de abatimento.



A Curva de Custo Marginal de Abatimento

- Determinação do Custo Marginal de Abatimento 2010-2050

$$CMA = \frac{\sum_{i=2010}^{2050} Custos_i}{\sum_{i=2010}^{2050} Emissões Evitadas_i}$$

- Os custos incorridos refletem, na verdade, um delta de custos entre o cenário de baixo carbono e o cenário de referência;
- As emissões evitadas refletem um delta de emissões entre o cenário de baixo carbono e o cenário de referência.

$$CMA = \frac{\sum_{i=2010}^{2050} \Delta Custos_{BC \times LB_i}}{\sum_{i=2010}^{2050} \Delta Emissões_{BC \times LB_i}}$$

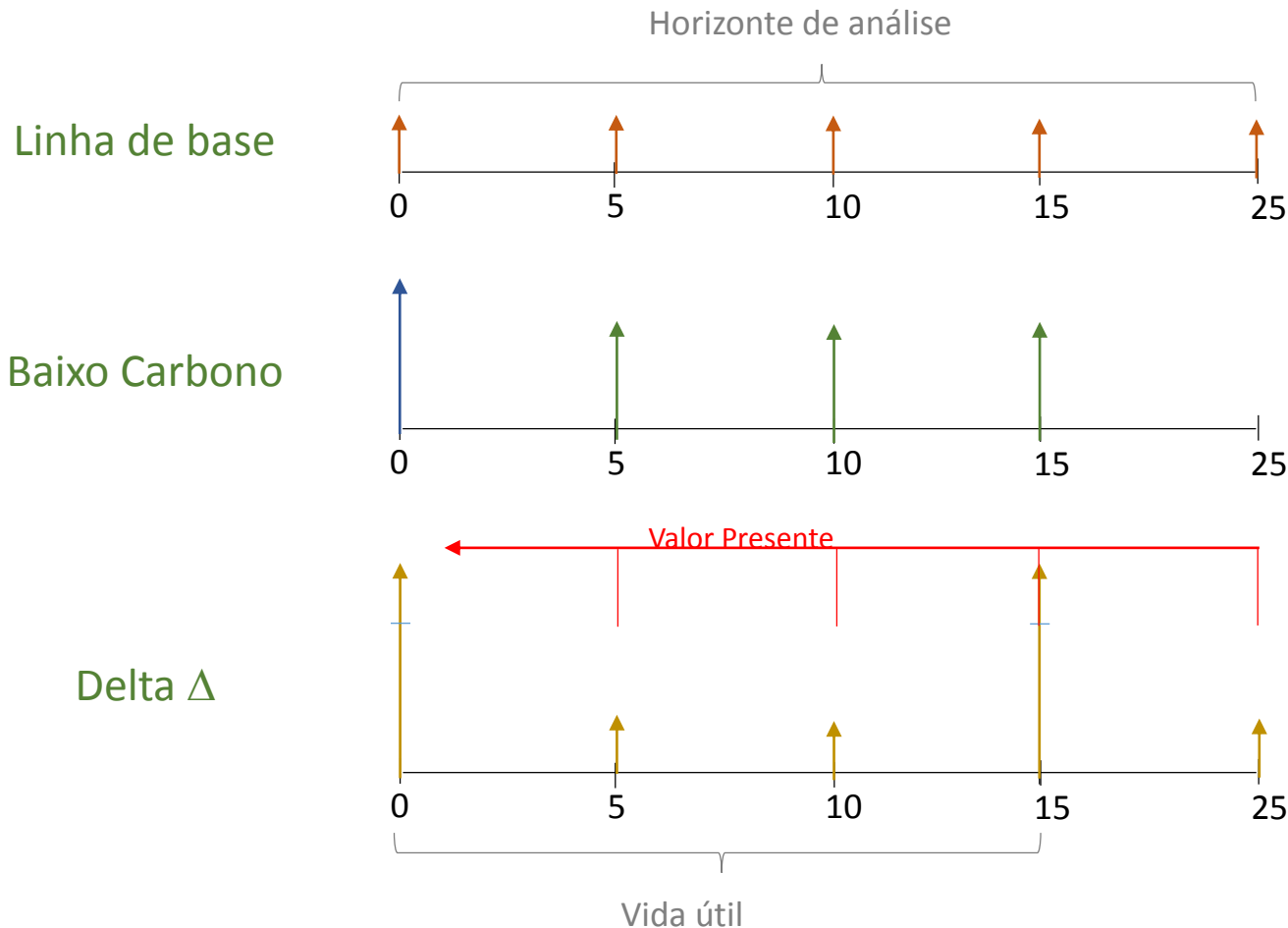
$C_i^{Abatimento} - C_i^{Base}$
 $E_i^{Base} - E_i^{Abatimento}$

- Os custos devem ser obtido em valor presente pelo método do valor presente líquido.



A Curva de Custo Marginal de Abatimento

- Horizonte de análise vs. Tempo de vida útil do projeto:

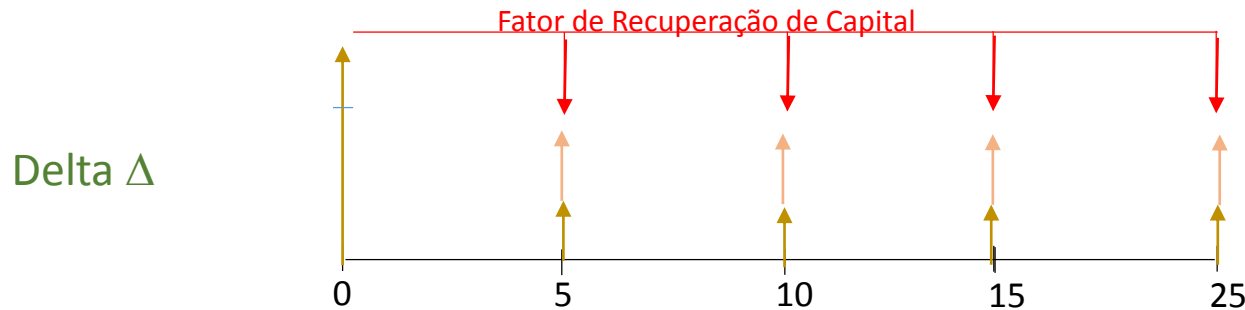


- Dentro do método VPL, o valor deve ser obtido considerando-se o horizonte de análise, havendo a necessidade de se repetir o investimento posteriormente se $V_{\text{útil}} < T_{\text{análise}}$.



A Curva de Custo Marginal de Abatimento

- Horizonte de análise vs. Tempo de vida útil do projeto:



- Alternativamente, anualiza-se o investimento, distribuindo-o ao longo do horizonte de análise.

Assim:

Investimento Nivelado (IN) = Investimento Total (IT) X Fator de Recuperação de Capital (FRC)

$$IN = IT * \frac{(1 + r)^n * r}{(1 + r)^n - 1}$$

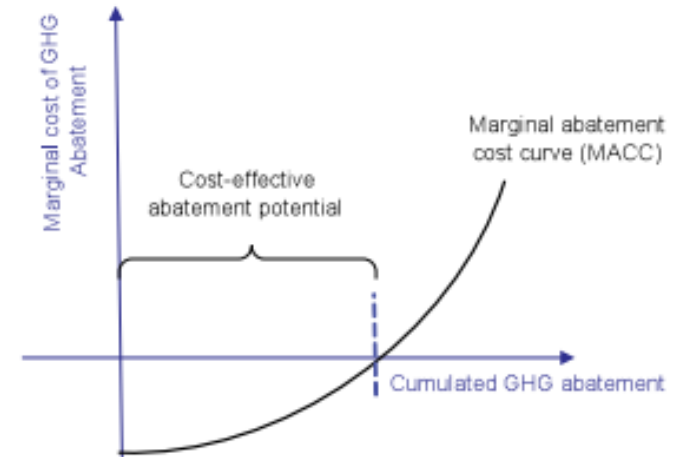
E, dessa forma, o custo de abatimento da opção de mitigação em determinado período é dado por:

$$C_i = (IT * FRC) + O\&M_i + Fc_i + R_i$$



A Curva de Custo Marginal de Abatimento

- Custo Marginal de Abatimento Negativo:
 - ✓ CMA negativo indica que a opção de mitigação é, na verdade, mais barata do que a opção tecnológica na linha de base e, por isso, poderia ser adotada mesmo na ausência de políticas de incentivo.
 - ✓ No entanto, MACC consistem essencialmente em opções tecnológicas e, por isso, não cobrem *custos de transação*, assim como custos associados a barreiras culturais, de informação, de mercado, financeiras, logísticas, etc.





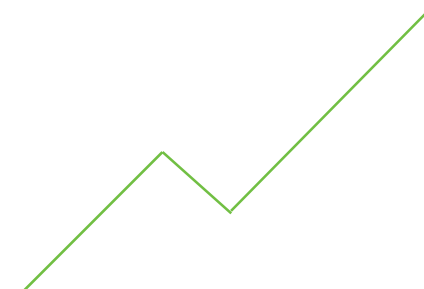
A Curva de Custo Marginal de Abatimento

- A escolha da taxa de desconto:
- ✓ Taxa de desconto social: deve refletir os benefícios gerados à sociedade pela implementação da opção de mitigação.
- ✓ Taxa de desconto privada: deve refletir a atratividade do projeto para o investidor privado.
- ✓ A escolha da taxa de desconto a ser utilizada depende da finalidade da análise:
 - Tomadores de decisão podem identificar quais políticas de intervenção podem se mostrar eficientes;
 - Empresários podem identificar oportunidades de negócios e ganhos de competitividade;
 - Pesquisadores podem entender o link entre metas de redução de emissões e ações concretas de suporte.
- Na indústria, as taxas de desconto tendem a variar entre 15% e 20%.



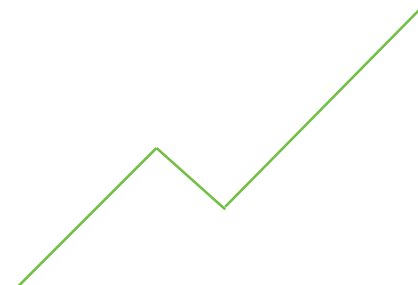
Obrigada!

larissa@ppe.ufrj.br





ANEXOS





Alimentos e Bebidas

Segmentação

- Com base em CNI (2010).
- Desagregação do setor em subsegmentos considerados homogêneos em relação a produtos e processos/operações envolvidas e seu consumo energético.
- Exclui a produção de açúcar (alocada no setor energético)

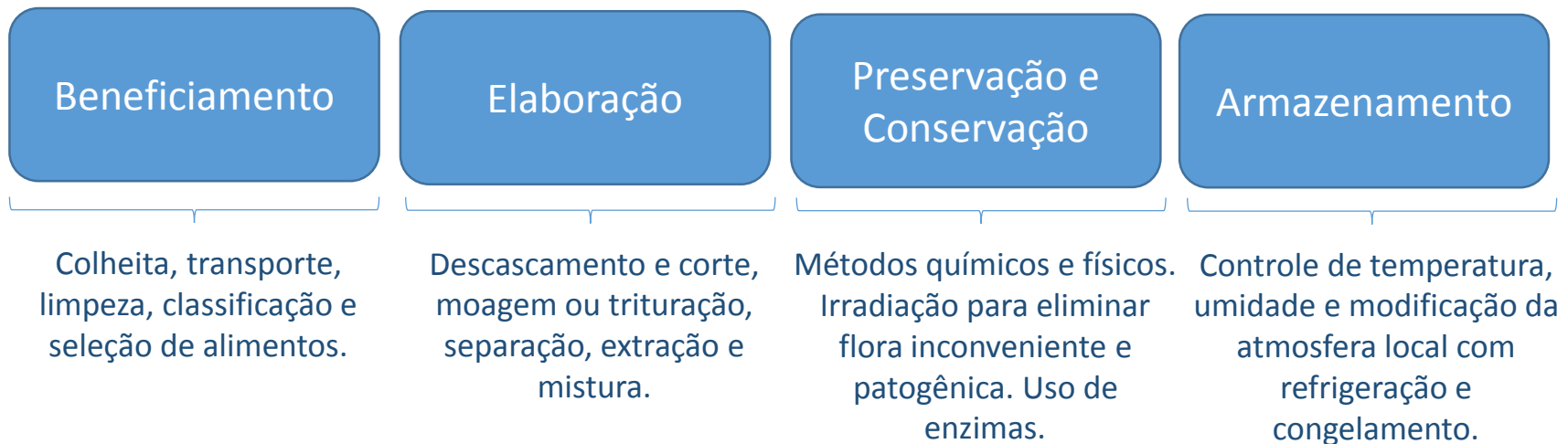
Derivados de Carne	Derivados do trigo
Carne bovina Carne Suína Frango Abate e preparo de aves	Biscoitos e bolachas Panificação Massas alimentícias
Beneficiamento de café, chá e cereais	Derivados de frutas e vegetais
Café torrado e moído Café solúvel Farinha de trigo (moagem) Arroz beneficiado	Doces de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



Alimentos e Bebidas

Processos

- As principais fases da fabricação de um produto alimentício :

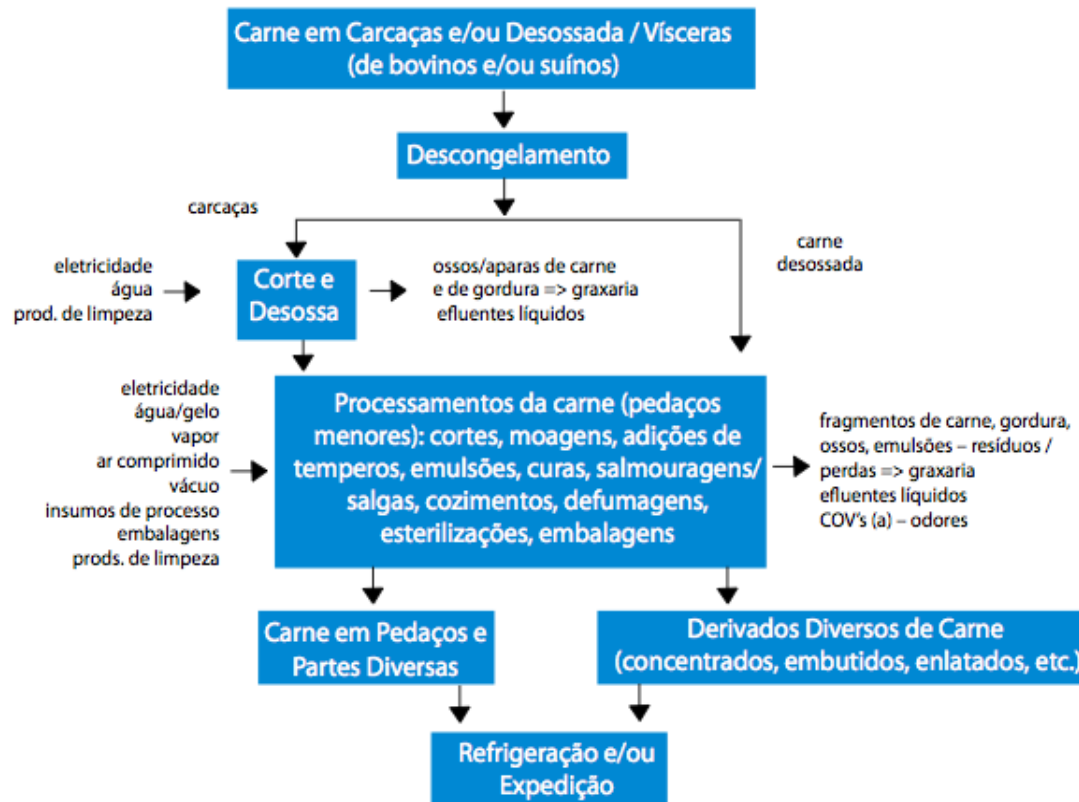




Alimentos e Bebidas

Processos

➤ Derivados de carne



(a) COV's = compostos orgânicos voláteis

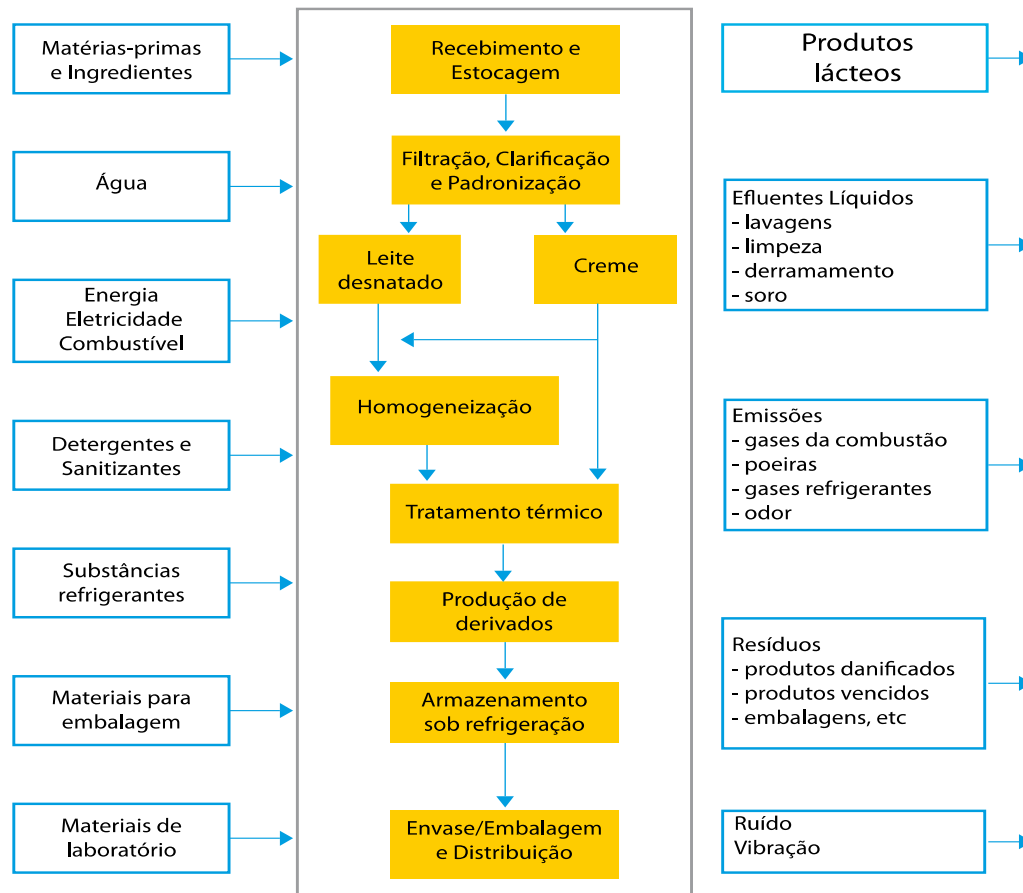
Fonte: Pacheco (2006).



Alimentos e Bebidas

Processos

➤ Derivados de leite



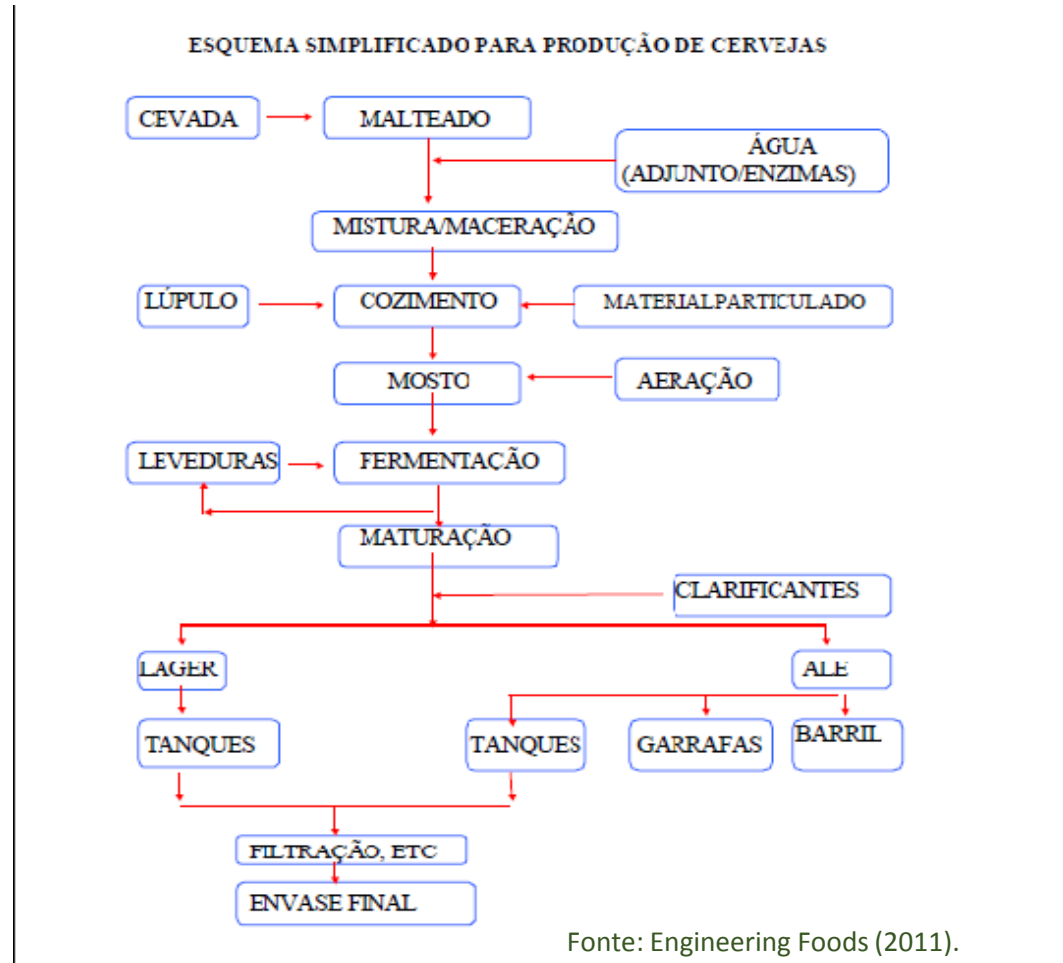
Fonte: Marganha (2006).



Alimentos e Bebidas

Processos

➤ Cerveja



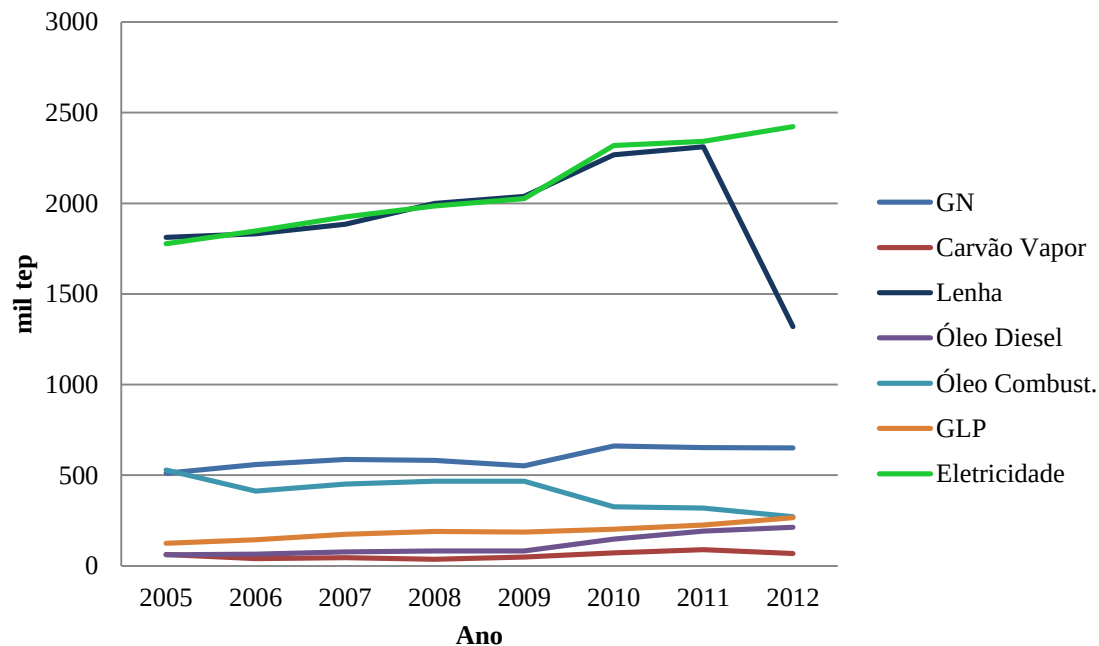


Alimentos e Bebidas

Consumo Energético

➤ Por combustível

Consumo Energético por Combustível 2005-2012



Fonte: EPE (2013).



Alimentos e Bebidas

Consumo Energético

- Setor substancialmente diversificado, com processos produtivos diversos e de baixa complexidade que podem ser agrupadas de acordo com a natureza do seu uso final da energia (CNI, 2010).

Distribuição do consumo de combustíveis por usos finais (2010) – 10 ³ tep						
Energéticos	força motriz	calor de processo	aquecimento direto	refrigeração	iluminação	Outros
Gás natural	0,0	442,8	219,2	0,0	0,0	0,0
Carvão vapor	0,0	52,7	18,3	0,0	0,0	0,0
Lenha	0,0	1234,6	1032,4	0,0	0,0	0,0
Óleo diesel	140,8	3,0	4,2	0,0	0,0	0,0
Óleo combustível	0,0	211,3	102,3	11,4	0,0	0,0
GLP	68,1	0,0	133,9	0,0	0,0	0,0
Eletricidade	781,8	333,0	320,3	784,9	99,1	0,0
Outras fontes.						
Sec. Petr.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	744,0	2602,7	1920,4	648,7	78,3	0,0

Fonte: CNI (2010) e EPE (2013).



Alimentos e Bebidas

Consumo Energético

- Cadeias mais eletro intensivas são a industrialização de carnes, do leite, o abate de carnes e o refino do óleo vegetal;
- Cadeias mais intensivas em energia sob a forma de calor são: o café, a industrialização de carnes, o refino do óleo vegetal e os pescados.

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

Fonte: CNI (2010).



Alimentos e Bebidas

Emissões de GEEs

- Emissões majoritariamente ligadas ao seu consumo energético: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) e óxido nitroso (N_2O).
- Emissões de processos são de compostos orgânicos voláteis não metálicos (NMVOC), provenientes da utilização de cereais e frutas nos processos de fermentação de bebidas alcoólicas e na produção de pães, rações animais, margarinas e outras gorduras sólidas, carnes, peixes e aves, e bolos, biscoitos e cereais matinais, e metano (CH_4) no tratamento de seus efluentes.
- Segundo MCTI (2010), em 2005:
 - ✓ 3.873Gg CO_2
 - ✓ 19Gg CH_4
 - ✓ 1014Gg CO
 - ✓ 33Gg NMVOC
 - ✓ 3Gg N_2O



Alimentos e Bebidas

Fontes de Informação do Setor

➤ Dados Setoriais – ALIMENTOS E BEBIDAS

ABIC, 2014. Associação Brasileira das Indústrias de Café. Processo Produtivo. Disponível em:

<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=207>. Acesso em: 08/2014.

AIG/EPA, 2014. Disponível em: <http://www.aigroup.com.au/environment/factsheets> Acesso em 09/2014.

CNI, 2010. *Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial: alimentos e bebidas* / Carlos Roberto Rocha, Sérgio Bajay, Filipe Debonzi Gorla. – Brasília: CNI, 2010.

EMBRAPA, 2014. Ageitec - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em:

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fok5vmke02wyiv80bhgp5pu0flzl6.html> Acesso em: 07/2014

FAO, 2014. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Disponível em:

<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab486p/AB486P07.htm> Acesso em: 08/2014.

➤ BAT – ALIMENTOS E BEBIDAS

CIRAS, 2005. Energy-Related Best Practices: A Sourcebook for Food Industry. Iowa State University, Coordenado por CIRAS. Outubro de 2005.

IPPC, 2006. Integrated Pollution Prevention and Control: Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. European Comission, Agosto, 2006.



Têxtil

Segmentação

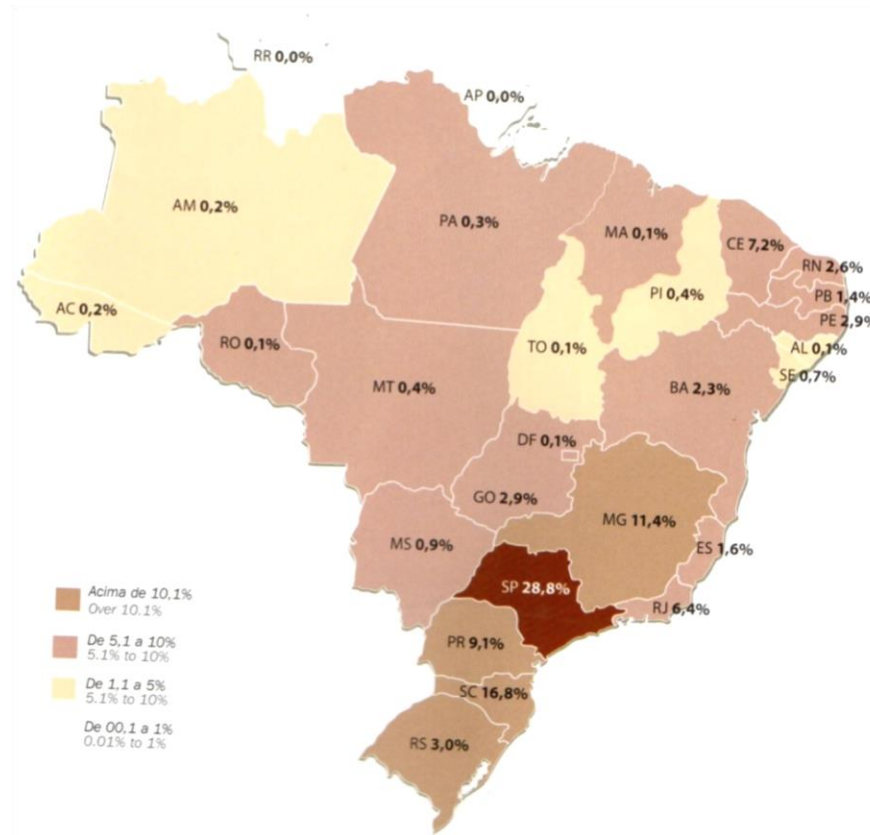
- Fiação
- Tecelagem
- Beneficiamento
- Confeção



Têxtil

Segmentação

➤ Regional



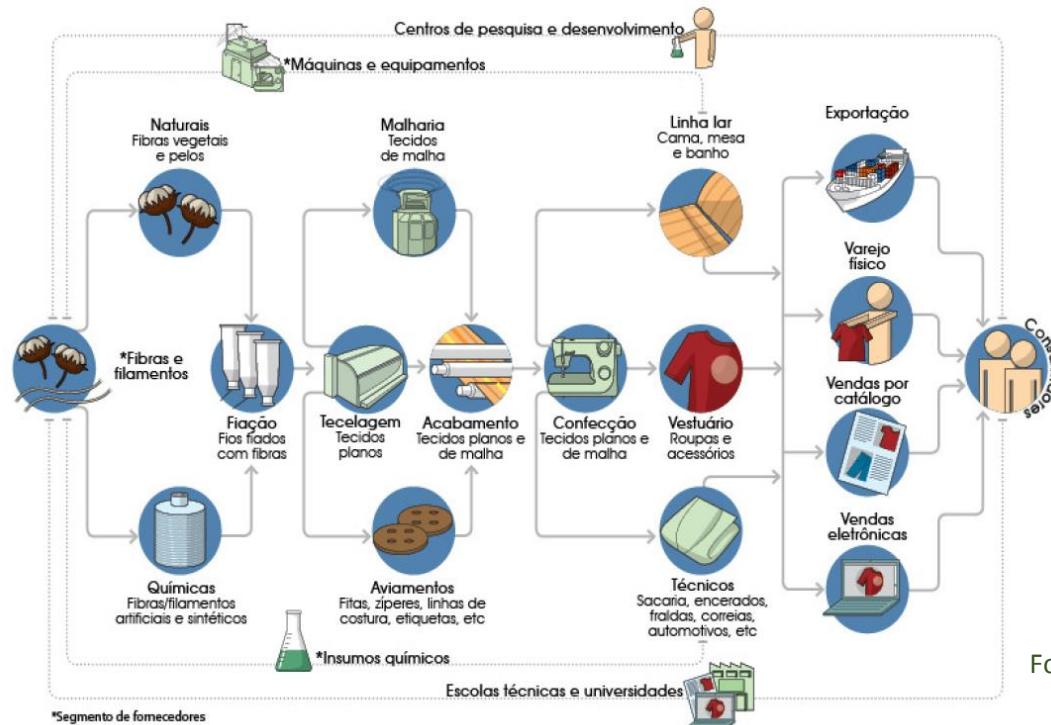
Fonte: IEMI (2008).



Têxtil

Processos

➤ Estrutura da Cadeia Produtiva



Fonte: ABIT (2008).

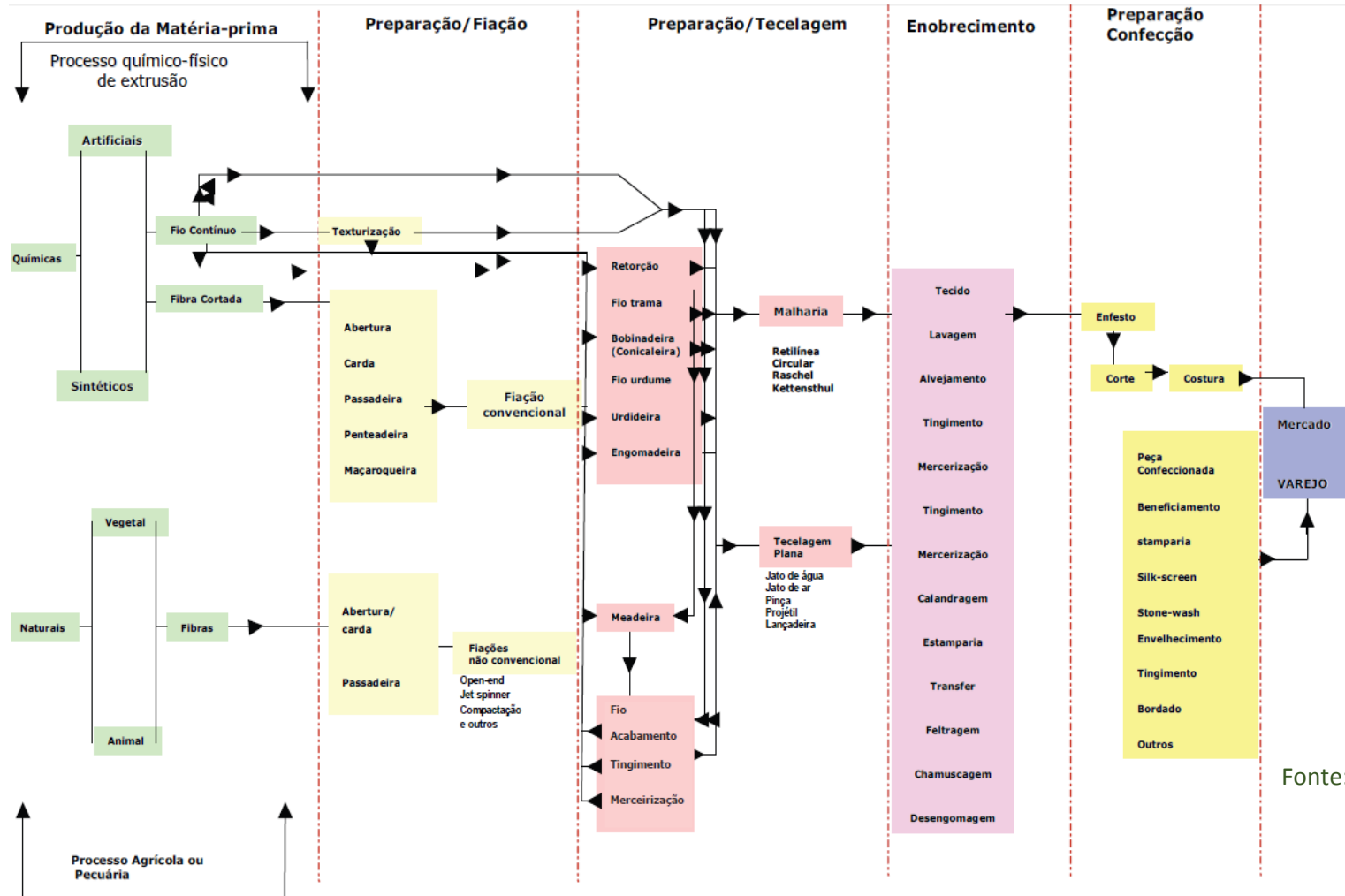
Matéria Prima	Segmento Industrial	Produto Final
Fibras Têxteis	Fiação	Fios Crus ou Beneficiados
Fios Crus ou Beneficiados	Tecelagem / Malharia	Tecidos
Tecidos	Beneficiamento / Acabamento	Tecidos Beneficiados/Acabados
Tecidos Beneficiados/Acabados	Confecção	Peças Vestuário/Linha Lar/Técnicos



Têxtil

Processos

➤ Estrutura da Cadeia Produtiva



Fonte: Bastian (2009).



Têxtil

Consumo Energético

➤ Equipamentos

Apoio / Suporte	Finalidade básica
Gerador de Vapor (caldeira)	Fornecer vapor para os equipamentos e/ou operações que envolvem transferência de calor.
Aquecedor de fluido térmico	Fornecer fluido aquecido para os equipamentos e/ou operações que envolvem transferência de calor.
Compressores de Ar	Fornecer ar comprimido para equipamentos pneumáticos.
Armazenamento de GLP	Fornecimento de combustível para processo de combustão (caldeira, rama, chamuscagem, etc.).
Sistema de climatização	Realiza a circulação do ar interior dos prédios mantendo condições específicas para: fiação, tecelagem e outros.
Estação de Tratamento 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)
Sistema de Tratamento das Águas Residuárias – STAR	Trata dos efluentes líquidos de origem industrial e doméstico, gerados numa planta industrial. Despeja e armazena temporariamente o lodo gerado.
Armazenamento de Produtos Perigosos	Instalações e sistema de proteção para armazenamento de produtos perigosos.
Atividades Administrativas	Trata das etapas e atividades de suporte na administração da empresa.

Fonte: Bastian (2009).



Têxtil

Consumo Energético

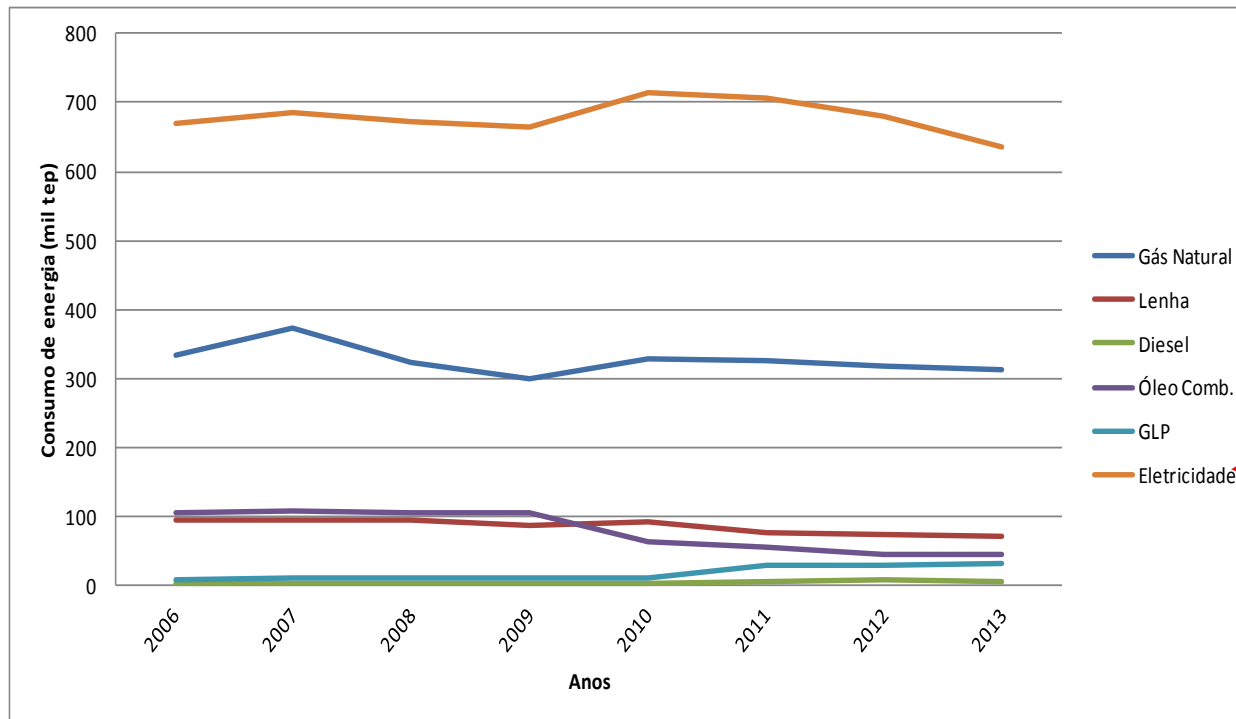
- Nos processos térmicos normalmente são empregadas caldeiras de vapor saturado, operando nas faixas de pressão de 5 a 12 kgf/cm², com temperaturas de 150 a 185 °C.
- Para demandas pequenas e médias são empregadas caldeiras flamotubulares;
- Para demandas médias/elevadas são mais utilizadas as caldeiras aquatubulares.
- Quando o processo solicita temperaturas maiores que 185 °C, normalmente são empregados os aquecedores de fluido térmico, já que com vapor saturado exigiria pressões elevadas, encarecendo o equipamento.
- Combustíveis utilizados: predomina o uso do gás natural (28%), seguido da lenha (6%), de óleos combustíveis (4%) e outros (3%). O consumo de energia elétrica (59%) também é investigado adiante. A Tabela 14 apresenta as utilidades do setor têxtil e suas finalidades básicas (EPE,2014).



Têxtil

Consumo Energético

➤ Consumo energético por fonte:



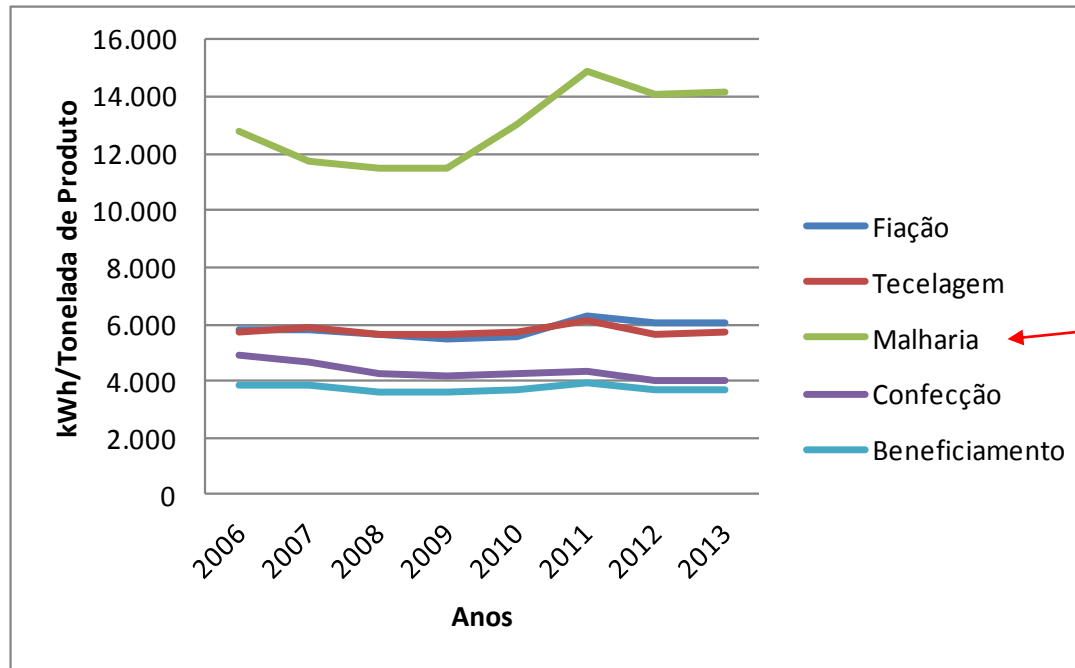
Fonte: EPE (2014) e IEMI (2014).



Têxtil

Consumo Energético

➤ Consumo energético por etapa:



Fonte: EPE (2014) e IEMI (2014).

Têxtil

Consumo Energético

➤ Consumo específico:

Anos	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Consumo									
Total (tep x 10 ³)	1.202	1.213	1.275	1.208	1.172	1.212	1.201	1.116	1.101
Eletricidade (tep x 10 ³)	660	669	685	672	665	715	707	645	635
Combustíveis (tep x 10 ³)	542	544	590	536	507	497	494	471	466
Eletricidade (kWh)	7.674.419	7.779.070	7.965.116	7.813.953	7.732.558	8.313.953	8.220.930	7.500.000	7.383.721
Produção de Fibras Processadas									
Produção (mil Toneladas de Fibras Processadas)	1.692	1.732	1.769	2.078	2.089	2.249	2.011	1.923	1.883
Consumos Específicos									
Eletricidade (kWh/t de fibras processadas)	4.536	4.491	4.503	3.760	3.702	3.697	4.088	3.900	3.921
Combustíveis (tEP/t de fibras processadas)	0,320	0,314	0,334	0,258	0,243	0,221	0,246	0,245	0,247
Eletricidade (kcal/kg)	3.901	3.863	3.872	3.234	3.183	3.179	3.516	3.354	3.372
Combustíveis (kcal/kg)	3.203	3.141	3.335	2.579	2.427	2.210	2.456	2.449	2.475
Total (kcal/kg)	7.104	7.003	7.207	5.813	5.610	5.389	5.972	5.803	5.847

Fonte: EPE (2014).

➤ Beneficiamento e malharia são as etapas mais energointensivas do setor.



Têxtil

Emissões de GEEs

- A etapa de beneficiamento é a maior emissora, dado o maior uso de combustíveis.

Total Setor Têxtil	Emissões	ANOS							
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	Gás Natural (tC)	214	238	206	192	211	209	203	200
	Lenha (tC)	60	61	61	56	59	49	47	45
	Diesel (tC)	1	2	2	2	2	4	5	4
	Óleo Comb. (tC)	67	69	68	68	41	35	29	29
	GLP (tC)	6	7	6	6	6	19	18	20
	Eletricidade (tC)	428	439	430	426	458	453	435	407
	Gás Natural (tCO ₂)	785	874	757	705	773	768	745	733
Lenha (tCO ₂)	221	226	223	207	216	179	172	167	
Diesel (tCO ₂)	5	7	7	7	7	14	19	14	
Óleo Comb. (tCO ₂)	247	254	249	249	150	129	106	108	
GLP (tCO ₂)	21	26	23	23	23	68	66	73	
Total Combustíveis tCO ₂	1.278	1.386	1.259	1.191	1.170	1.158	1.107	1.095	
Eletricidade (tCO ₂)	1.572	1.609	1.579	1.562	1.680	1.661	1.595	1.492	
Totais tCO ₂	2.850	2.996	2.838	2.754	2.850	2.819	2.702	2.587	

Segmento Beneficiamento	Emissões	ANOS							
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	Gás Natural (tC)	214	238	206	192	211	209	203	200
	Lenha (tC)	60	61	61	56	59	49	47	45
	Diesel (tC)	1	2	2	2	2	4	5	4
	Óleo Comb. (tC)	67	69	68	68	41	35	29	29
	GLP (tC)	6	7	6	6	6	19	18	20
	Eletricidade (tC)	50	52	51	50	54	53	51	48
	Gás Natural (tCO ₂)	785	874	757	705	773	768	745	733
Lenha (tCO ₂)	221	226	223	207	216	179	172	167	
Diesel (tCO ₂)	5	7	7	7	7	14	19	14	
Óleo Comb. (tCO ₂)	247	254	249	249	150	129	106	108	
GLP (tCO ₂)	21	26	23	23	23	68	66	73	
Total Combustíveis tCO ₂	1.278	1.438	1.310	1.241	1.224	1.212	1.158	1.143	
Eletricidade (tCO ₂)	185	190	186	184	198	196	188	176	
Totais tCO ₂	1.463	1.627	1.496	1.425	1.422	1.407	1.346	1.318	



Têxtil

Fontes de Informação do Setor

➤ Dados Setoriais – TÊXTIL

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

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil. “BNDES: A cadeia têxtil e de confecções – uma visão de futuro”. Apresentação realizada no BNDES, Rio de Janeiro, 2008.

BASTIAN, ELZA Y. ONISHI. Guia técnico ambiental da indústria têxtil, CETESB : SINDITÊXTIL, São Paulo 2009.

IEMI – INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL. Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira 2014 – Brasil Têxtil 2014, São Paulo, 2014.

SANT’ANA, PAULO HENRIQUE DE MELLO, Oportunidades de eficiência energética para indústria: setor têxtil / Paulo Henrique de Mello Sant’Ana, Sérgio Valdir Bajay (Coord.). – Brasília: CNI, 2010.

➤ BAT – TÊXTIL

UNITED STATES. EPA. Office of Research and Development. Best available techniques for pollution prevention in textile industry. Washington, 1995.



Papel e Celulose

Segmentação

- Empresas podem ser divididas em (BRACELPA, 2014):
 - Produtoras de celulose e de pastas de alto rendimento (PAR);
 - Produtoras integradas (papel + celulose);
 - Produtoras de papéis, inclusive para fins sanitários;
 - Produtoras de papel a partir da reciclagem de fibras secundárias ou papel velho.

- Processos podem ser do tipo (BNDES, 2010):
 - Celulose:
 - Mecânico – termomecânico;
 - Mecânico - quimiotermomecânico;
 - Químico – sulfato/Kraft;
 - Químico – Semiquímico.
 - Papel: sem variações.

- Produtos por tipo (CNI, 2010):
 - Pastas celulósicas de alto rendimento (PAR) produzidos por processos mecânicos;
 - Pastas celulósicas químicas e semiquímicas produzidas por processos químicos;
 - Papéis produzidos através das etapas básicas de produção de papel.



Papel e Celulose

Segmentação

➤ Tipos de papel e de celulose (BRACELPA, 2014):

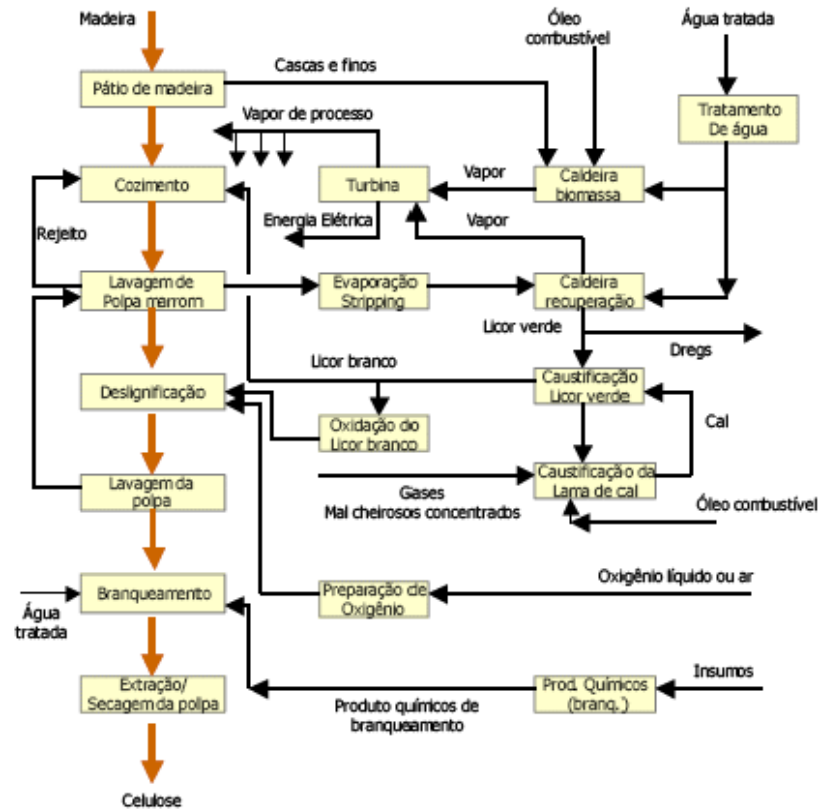
Celulose	Papel
Fibra Longa	Papel de imprensa
Branqueada	Papel de imprimir e escrever
Não branqueada	Papel para embalagem
Fibra Curta	Papel para fins sanitários
Branqueada	Papel cartão
Não branqueada	Cartolinas
Pasta de Alto Rendimento	Outros



Papel e Celulose

Processos

➤ Método químico Kraft de produção de celulose:

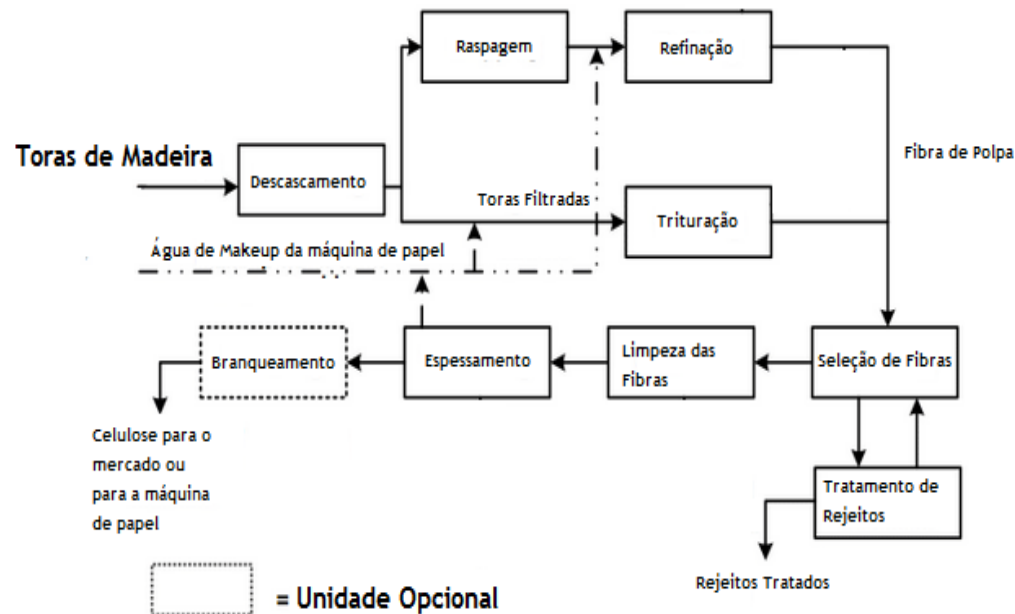




Papel e Celulose

Processos

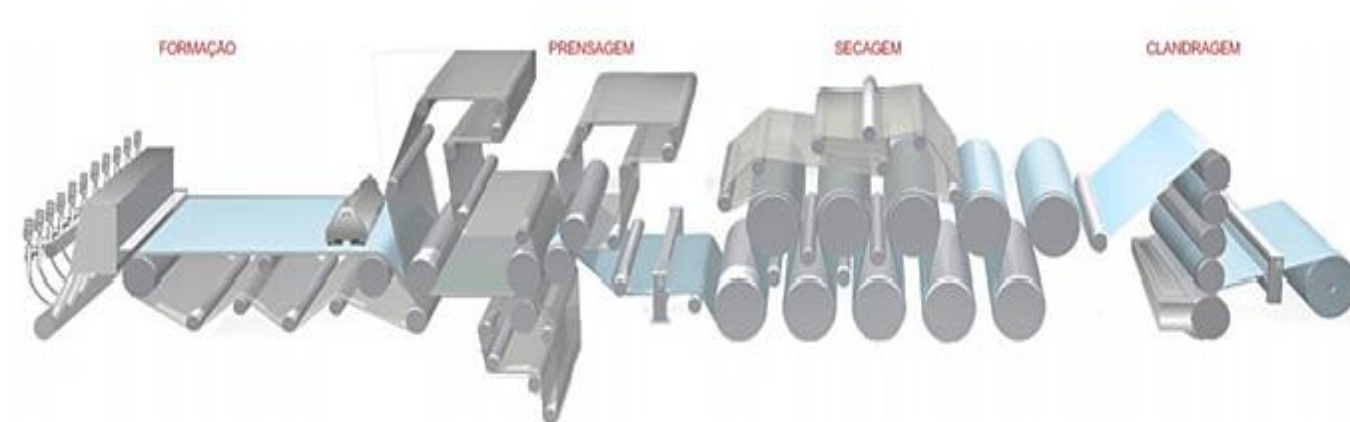
- Método mecânico de produção de celulose → maiores rendimentos, porém fibras mais curtas:



Papel e Celulose

Processos

- Método de produção de papel:



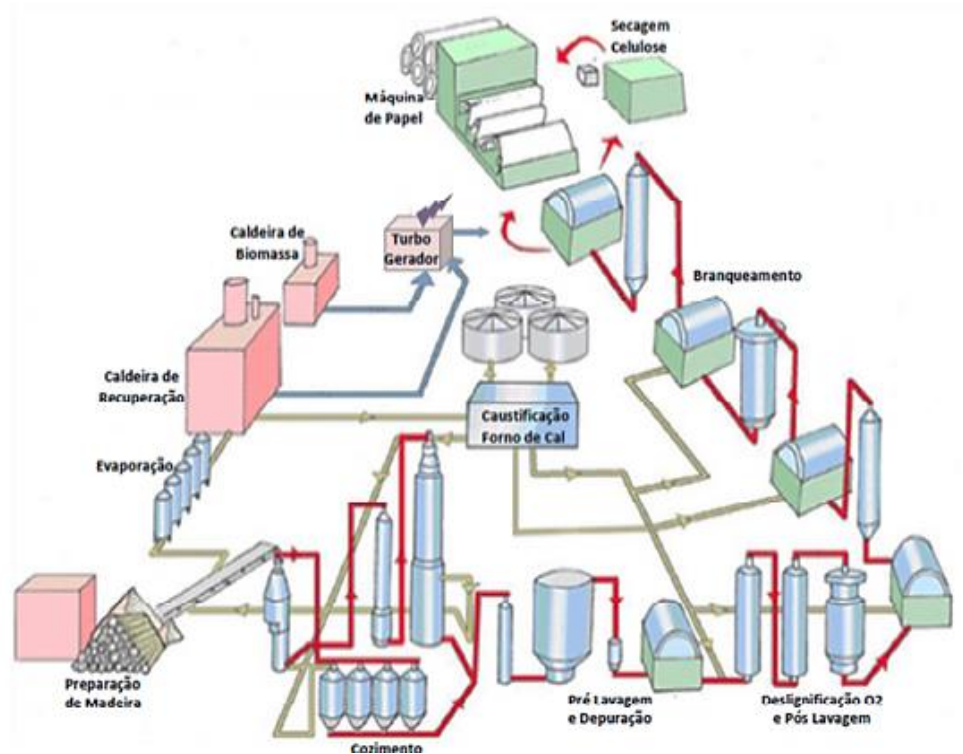
Fonte: MDIC (2012).



Papel e Celulose

Processos

- Processo integrado de produção de papel e celulose:



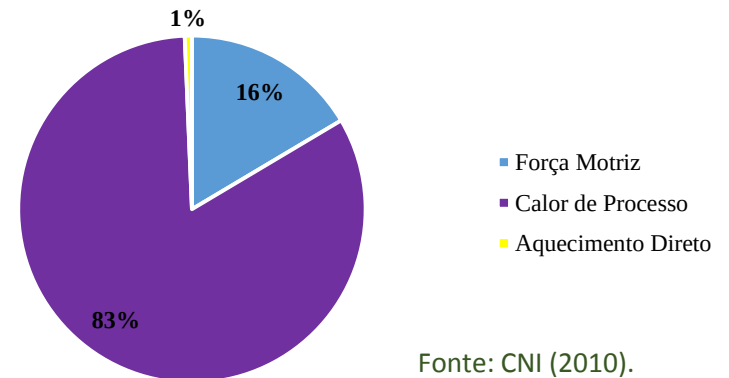
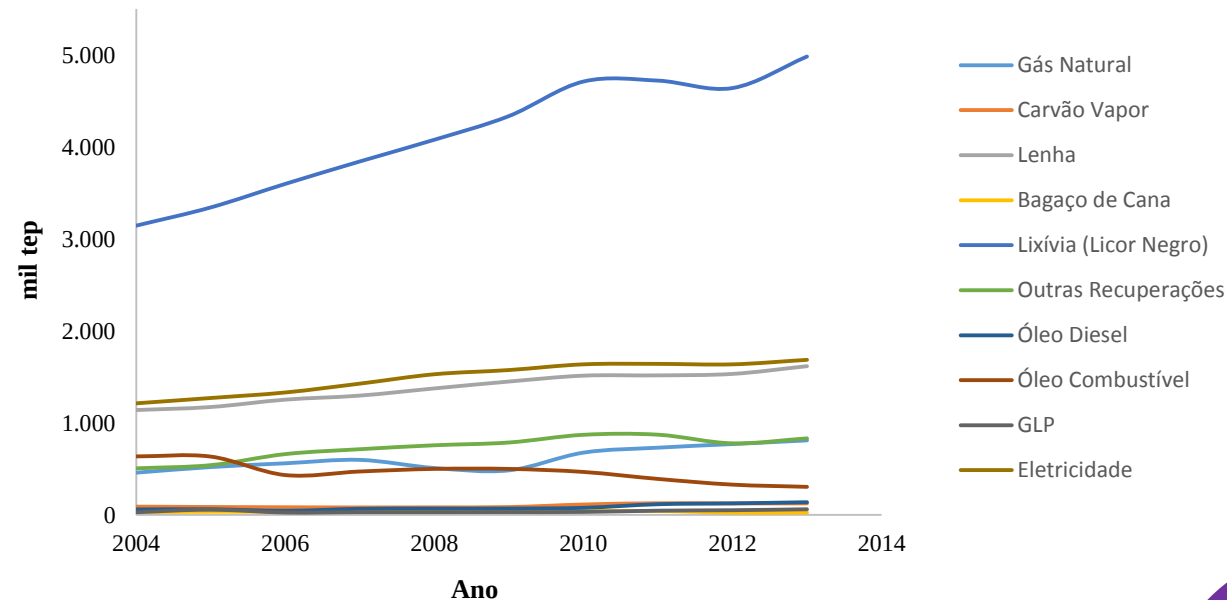
Fonte: MDIC (2012).



Papel e Celulose

Consumo Energético

➤ Consumo energético por fonte e uso final:





Papel e Celulose

Consumo Energético

➤ Consumo energético por processo:

Etapa do Processo Produtivo	Consumo Específico de Vapor (GJ/t)	Consumo Específico de Eletricidade (GJ/ t)
Preparação da Madeira	-	0,41
Produção de Celulose – Método Químico	2,91	0,97
Produção de Celulose – Método Mecânico	0,03	0,82
Branqueamento	1,61	0,22
Recuperação Química	4,98 ¹	0,08
Secagem da Celulose	0,42	0,05
Produção de Papel	10,68	1,92
Total – Com Método Químico	20,6	3,65
Total – Com Método Mecânico	17,72	3,5

¹Vapor + combustível

Fonte: Martin et al. (2000).

Papel e Celulose

Consumo Energético

➤ Consumo energético Brasil:

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Produção Física (10 ³ toneladas)	16.449	17.570	18.219	18.357	18.773	19.857
Consumo Específico de Energia Total (GJ/toneladas)	22,8	22,3	23,3	23,3	22,3	22,3
Consumo Específico de Energia Térmica (GJ/toneladas)	18,9	18,5	19,5	19,5	18,7	18,7
Consumo Específico de Energia Elétrica (GJ/toneladas)	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6	3,6

Fonte: base em Bracelpa, 2014, 2013, 2012, 2011, 2010 e EPE, 2014.



Papel e Celulose

Emissões de GEEs

- Emissões de processo de CO, NOx e NMVOC ocorrem durante a preparação da celulose, quando são usados processos químicos para dissolver a lignina da madeira.
- Segundo MCTI (2010), em 2005:
 - 52,6 Gg de CO
 - 14,1 Gg de NOx
 - 34,8 Gg de NMVOC.
- No que concerne à queima de combustíveis para geração de energia térmica em forma de vapor e calor, segundo ABDI (2012), esta é a maior fonte de geração de gases de efeito estufa do setor.
- Medidas de mitigação específicas típicas:
 - Polpação mecânica RTS e termopolpação
 - Utilização de aditivos na polpação química
 - Concentração de sólidos do licor negro
 - Aumento do uso de polpa de celulose reciclada



Papel e Celulose

Fontes de Informação do Setor

➤ Dados Setoriais – PAPEL E CELULOSE

BRACELPA – Associação Brasileira de Papel e Celulose. Conjuntura Bracelpa - Publicação mensal da Associação Brasileira de Celulose e Papel - São Paulo, 2014.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria: setor papel e celulose. Brasília, 2010.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Eficiência energética: recomendações de ações de CT&I em segmentos da indústria selecionados – celulose e papel: série documentos técnicos, 20 - Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2013.

FAO – *FAOStat Forestry*. Base de Dados em Produção, Importação e Exportação de Produtos Florestais. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/626/default.aspx#ancor>>. Acesso em 28 de julho, 2014.

➤ BAT – PAPEL E CELULOSE

IPPC - Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. Europa, 2001.

_____. Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. Europa, 2010.

Kramer, J. K.; Masanet, E.; Xu, T.; Worrel, E. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pulp and Paper Industry. Environmental Energy Technologies Division - Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, 2009.

Martin, N., N. Anglani, D. Einstein, M. Khrushch, E. Worrell, and L.K. Price. Opportunities to Improve Energy Efficiency and Reduce Greenhouse Gas Emissions in the U.S. Pulp and Paper Industry. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, 2000.

US DOE - United States Department of Energy. Improving Fan System Performance. A sourcebook for industry. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C., 2003.

US DOE - United States Department of Energy. Neville Chemical Company: Management Pursues Five Projects Following Plant-Wide Energy-Efficiency Assessment. July 2003. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C., 2003a.

US DOE - United States Department of Energy. Improving Steam System Performance. A Sourcebook for Industry. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C., 2004.
Etc.



Cerâmica

Segmentação

➤ Cerâmica Vermelha

- Baixo valor agregado
- Baixo investimento em modernização
- Muito pulverizada
- Constitui 85% da produção total do país

➤ Cerâmica Branca

- Maior valor agregado
- Mais energointensiva
- Indústria mais moderna
- Divide-se em: pisos/revestimentos, refratários, louças sanitárias, louças de mesa, cerâmica elétrica.



Cerâmica

Processos

➤ Cerâmica Branca (esquema geral)

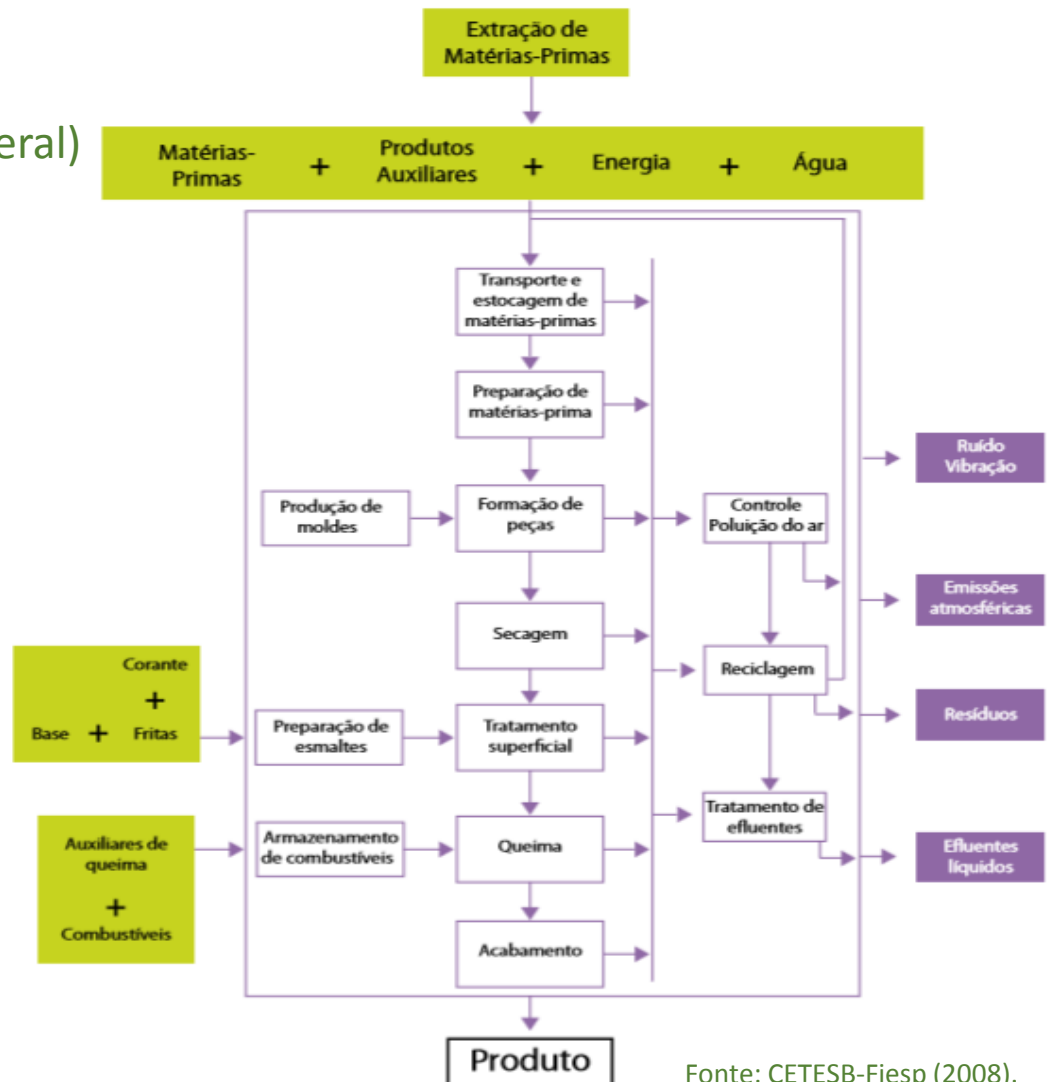
Preparação das matérias-primas

Conformação dos produtos

Extrusão, torneamento, prensagem, fundição.

Processamento térmico

Secagem e queima.



Fonte: CETESB-Fiesp (2008).

Cerâmica Processos

➤ Cerâmica Vermelha

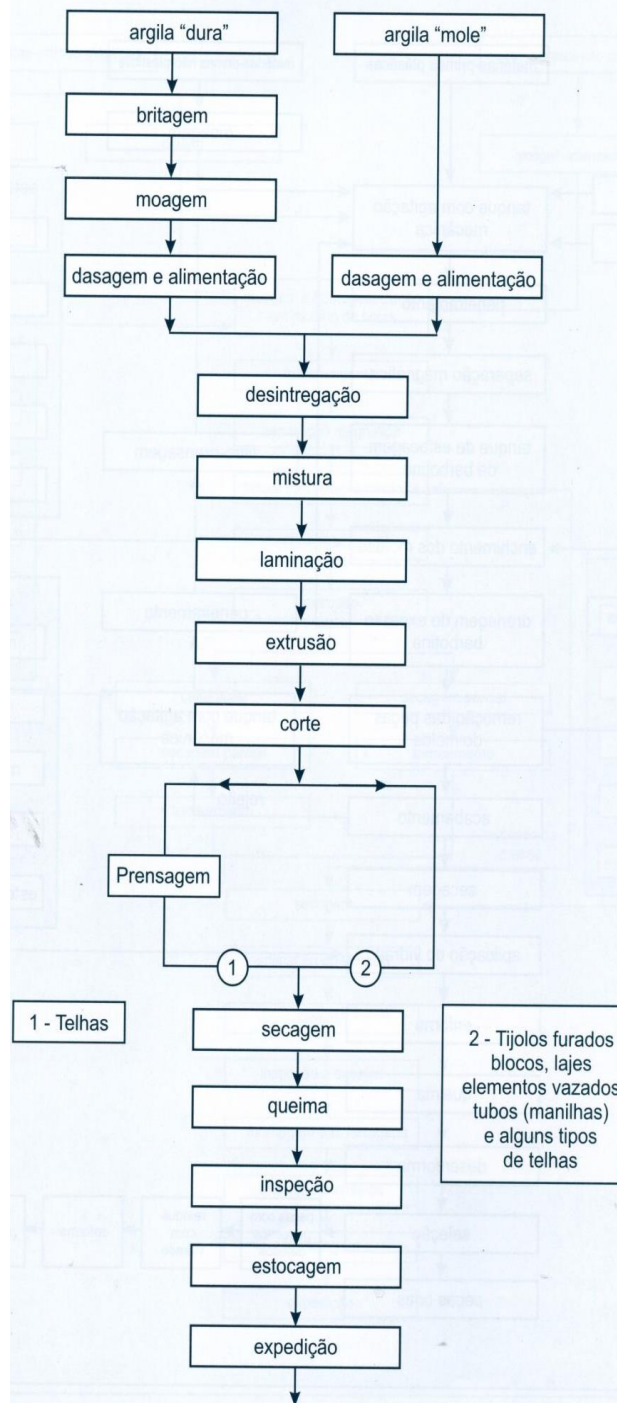
Preparação das matérias-primas

Conformação dos produtos

Laminação, extrusão, corte, prensagem.

Processamento térmico

Secagem e queima.



Opções de Mitigação de Emissões e Gases de Efeito Estufa em tores-Chave do Brasil

Fonte: ABC (2003).



Cerâmica

Consumo Energético

➤ Consumo específico:

Sub segmentos	Produção (10 ⁶ t/ano)	Demanda Térmica (10 ³ tep/ano)	Demanda Elétrica (TWh/ano)	Consumo Específico de Combustíveis (kcal/kg)	Consumo Específico de Eletricidade (kWh/t)	Consumo Específico de Eletricidade (kcal/kg)
C. Branca	15,578	1.827,11	1,262	1.172	81,0	69,66
C. Vermelha	91,144	5.988,16	3,053	657	33,5	28,81
Total Setor	106,722	7.815,27	4,315	732	40,0	34,40

Fonte: INT (2012).

- Nota-se que a produção de cerâmica vermelha representa perto de 85% da produção total. Consequentemente as demandas de energia deste segmento são as de maior peso, representado respectivamente, 75 e 70% das demanda térmica e elétricas.



Cerâmica

Consumo Energético

➤ Consumo específico – cerâmica branca:

Subsegmentos	Produção (10 ⁶ t/ano)	Cons. Esp. de eletricidade kWh/t	Cons. Esp. de combustível kcal/kg	Demanda elétrica TWh/ano	Demanda térmica tep/ano
1. Pisos/revestimentos	14,600	75	766	1,095	1.118,26
2. Refratários	0,575	150(***)	10.000(***)	0,086	575,000
3. Louças sanitárias	0,300(*)	200(**)	2.700	0,057	76,950
4. Louças de mesa	0,053	80	6.000	0,004	31,800
5. Cerâmica elétrica	0,050	50	5.000	0,002	25,000
Total	15,578	81	1.172	1,244	1.827,11

(*) considerando perda de 5% na produção relativa à massa total processada;

(**) inclui parcela estimada de 30% de energia elétrica para fins térmicos.

(***) incluindo a demanda energética na fabricação das matérias-primas.

Fonte: ANFACER (2013).

➤ A produção de pisos e revestimentos é a mais representativa. Refratários é a mais energointensiva.



Cerâmica

Consumo Energético

➤ Consumo específico – cerâmica vermelha:

Segmento	Produção (10 ⁶ t/ano)	Cons. Esp. eletricidade kWh/t	Cons. Esp. combustível kcal/kg	Demanda Elétrica TWh/ano	Demanda Térmica 10 ³ tep/ano
Tijolos, telhas, blocos estruturais e lajotas	91,144	33,5	657	3,053	5.988

Fonte: INT (2012).



Cerâmica

Fontes de Informação do Setor

➤ Dados Setoriais – CÊRAMICA

ABC, 2003. *Associação Brasileira de Cerâmica. Anuário Brasileiro de Cerâmica.*

ANFACER, 2013. *Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica.* Disponível em:

<http://www.anfacer.org.br>. Acesso em 23/08/2014.

ALVES, H. J., MELCHIADES, F. G., BOSCHI, A. O., BRITO, H. B. Análise do consumo de energia térmica no setor brasileiro de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, 15 (4) julho/agosto, p. 7-13, 2010.

ASPACER, 2012. *Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento.* Disponível em:

<http://www.aspacer.com.br>. Acesso em 23/08/2014.

INT, 2012. *Panorama da Indústria de Cerâmica Vermelha no Brasil.* Relatório Final do Projeto EELA (Eficiencia Energética en Ladrilleras). Instituto Nacional de Tecnología – INT, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación – COSUDE, SWISSCONTACT - Rio de Janeiro.

INT, 2013. *Panorama da Indústria de Cerâmica Vermelha na Região Nordeste do Brasil* – Relatório Final de Projeto EELA.



Medidas de Mitigação

Descrição

- Medidas específicas de novos processos:
 - Secadores “CondeBelt” (Papel e celulose):

No secador “CondeBelt” o papel é seco por contato com uma peça de aço quente, aquecida por vapor ou gás quente. A água do papel é evaporada com o calor da peça de metal.

Esta técnica de secagem tem o potencial de substituir completamente a seção de secagem de uma máquina convencional de papel, com uma velocidade de secagem de 5 a 15 vezes maior do que a secagem convencional por vapor.

Os custos de capital são considerados elevados, apesar de o tamanho da área de secagem ser reduzido.
- ❖ Potencial de eficiência: estima-se uma poupança de 15% no consumo de vapor e uma ligeira redução no consumo de energia elétrica.