

**TERCEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE EMISSÕES E REMOÇÕES
ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

SETOR PROCESSOS INDUSTRIAIS

PRODUTOS MINERAIS

Produção de Cimento

Produção de Cal

Outros Usos do Calcário e Dolomita

Produção e Uso de Barrilha

**TERCEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE EMISSÕES E REMOÇÕES
ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS PROCESSOS
INDUSTRIAIS - PRODUTOS MINERAIS**

Produção de Cimento

Produção de Cal

Outros Usos do Calcário e Dolomita

Produção e Uso de Barrilha

Elaborado por:

Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima (CGMC) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)

Colaboração:

ABPC - Associação Brasileira de Produtores de Cal

ABIQUIM - Associação Brasileira de Indústria Química

MME - Ministério de Minas e Energia

Rima Industrial S.A.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

**Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
2015**

Índice

	Página
1	Introdução..... 9
2	Emissão de CO₂ pela Calcinação de Calcário e Dolomita..... 10
2.1	<i>Produção de Cimento</i> 10
2.1.1	<i>Panorama do setor</i> 11
2.1.2	<i>Metodologia</i> 14
2.1.3	<i>Dados</i> 18
2.1.4	<i>Resultados</i> 22
2.2	<i>Produção de Cal</i>..... 24
2.2.1	<i>Metodologia</i> 25
2.2.2	<i>Dados</i> 26
2.2.3	<i>Resultados</i> 28
2.3	<i>Outros Usos de Calcário e Dolomita com Calcinação</i> 31
2.3.1	<i>Metodologia</i> 31
2.3.1.1	<i>Siderurgia</i> 31
2.3.1.2	<i>Produção de Vidro</i> 35
2.3.1.3	<i>Produção de Magnésio</i> 39
2.3.2	<i>Resultados Agregados de Outros Usos de Calcário e Dolomita por Calcinação</i> 41
3	Produção e uso de carbonato neutro de sódio (barrilha) 43
3.1	<i>Metodologia</i>..... 43
3.2	<i>Dados</i>..... 43
3.3	<i>Resultados</i>..... 44
4	Diferenças em relação ao Segundo Inventário 46
5	Referências Bibliográficas 47
Anexos 49
Anexo 1	<i>- Dados anuais de produção de cal no Brasil</i> 49
Anexo 2	<i>- Utilização de calcário e dolomita na siderurgia no Brasil, de 1990 a 2012</i> 50
Anexo 3	<i>- Dados anuais da produção de vidro do Brasil, de 1997 a 2011</i> 50
Anexo 4	<i>- Reciclagem de embalagens de vidro do Brasil, de 1991 a 2011</i> 51
Anexo 5	<i>- Variação anual da produção de vidro do Brasil, de 1992 a 1997</i> 51
Anexo 6	<i>- Produção de magnésio no Brasil, de 1990 a 2011</i> 51
Anexo 7	<i>- Produção, importação, exportação de barrilha no Brasil, de 1990 a 2007</i> 51

Lista de Tabelas

	Página
<i>Tabela 1 – Maiores produtores (em milhões de toneladas)</i>	11
<i>Tabela 2 - Produção nacional de cimento e clínquer e conteúdo de clínquer no cimento</i>	20
<i>Tabela 3 - Massas moleculares das substâncias relacionadas ao processo de descarbonatação</i>	20
<i>Tabela 4 - Emissões de CO₂ do processo de descarbonatação do calcário na produção de clínquer na indústria do cimento</i>	22
<i>Tabela 5 – Classificação da cal</i>	25
<i>Tabela 6 – Relação entre o percentual total de CaO na cal e sua composição</i>	26
<i>Tabela 7 – Fatores de emissão por tipo de cal</i>	26
<i>Tabela 8 – Produção de cal no Brasil</i>	27
<i>Tabela 9 – Tipos de cales produzidas, sem água</i>	28
<i>Tabela 10 – Emissões da produção da cal no Brasil</i>	28
<i>Tabela 11 – Emissões de CO₂ do setor da cal no Brasil, de 1990 a 2012</i>	30
<i>Tabela 12 – Consumo de calcário e dolomita do setor metalúrgico</i>	32
<i>Tabela 13 – Outros usos do calcário e dolomita na siderurgia, exceto a produção cativa de cal</i>	33
<i>Tabela 14 – Emissões relativas a outros usos do calcário e dolomita na siderurgia, fora o uso para produção cativa de cal</i>	33
<i>Tabela 15 - Emissões relativas a outros usos do calcário e dolomita na siderurgia, fora o uso para produção cativa de cal, para o período de 1990 a 2012</i>	34
<i>Tabela 16 – Produção da indústria do vidro</i>	36
<i>Tabela 17 – Índices de reciclagem de vidro no Brasil</i>	37
<i>Tabela 18 – Utilização de calcário e dolomita na fabricação do vidro</i>	37
<i>Tabela 19 - Emissões relativas ao uso de calcário e dolomita na produção de vidro</i>	37
<i>Tabela 20 - Emissões de CO₂ na produção de vidro, de 1990 a 2011</i>	38
<i>Tabela 21 – Produção nacional de magnésio</i>	39
<i>Tabela 22 - Emissões de CO₂ na produção de magnésio, pela calcinação da dolomita</i>	39
<i>Tabela 23 – Emissões da calcinação da dolomita na produção de magnésio, de 1990 a 2011</i>	40
<i>Tabela 24 - Emissões de outros usos de calcário e dolomita, por calcinação</i>	41
<i>Tabela 25 - Emissões de outros usos do calcário e da dolomita, de 1990 a 2011</i>	42
<i>Tabela 26 - Consumo de barrilha</i>	43
<i>Tabela 27 - Emissões de CO₂ pelo consumo de barrilha</i>	44
<i>Tabela 28 - Emissões de CO₂ pelo consumo de barrilha, de 1990 a 2011</i>	44

Lista de Figuras

	Página
<i>Figura 1 – Participação regional na produção de cimento - 2012</i> _____	12
<i>Figura 2 - Consumo aparente no Brasil (em milhões de toneladas)</i> _____	12
<i>Figura 3 - Normas Técnicas ABNT – Adições ao Cimento</i> _____	13
<i>Figura 4 – Produções de cimento e de clínquer, e conteúdo de clínquer no cimento</i> _____	21
<i>Figura 5 – Emissões da produção de cimento no Brasil, de 1990 a 2010</i> _____	23
<i>Figura 6 – Fatores de emissão implícitos para as emissões CO₂ referentes à produção de cimento e de clínquer</i> _____	23
<i>Figura 7 - Emissões da produção da cal no Brasil 1990-2012</i> _____	30
<i>Figura 8 – Emissões relativas a outros usos do calcário e dolomita na siderurgia, fora o uso para produção cativa de cal, para o período de 1990 a 2012</i> _____	34
<i>Figura 9 - Emissões de CO₂ na produção de vidro, de 1990 a 2011</i> _____	38
<i>Figura 10 – Emissões de CO₂ pela calcinação da dolomita na produção de magnésio</i> _____	40
<i>Figura 11 - Emissões relativas aos outros usos de calcário e da dolomita com calcinação no Brasil, de 1990-2011</i> _____	42
<i>Figura 12 – Emissões de CO₂ pelo consumo da barrilha</i> _____	45

Apresentação

O Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal (Inventário) é parte integrante da Comunicação Nacional à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Convenção de Mudança do Clima). A Comunicação Nacional, por sua vez, é um dos principais compromissos de todos os países signatários da Convenção de Mudança do Clima.

A responsabilidade pela elaboração da Comunicação Nacional é do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, por ser este Ministério o responsável pela coordenação da implementação da Convenção de Mudança do Clima no Brasil, conforme divisão de trabalho no âmbito do Governo Federal estabelecida em 1992. A Terceira Comunicação Nacional Brasileira foi elaborada de acordo com as Diretrizes para Elaboração das Comunicações Nacionais dos Países não Listados no Anexo I da Convenção (países em desenvolvimento) (Decisão 17/CP.8 da Convenção) e as diretrizes metodológicas do Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC).

Em atenção a essas Diretrizes, o presente Inventário é apresentado para os anos de 2006 a 2010. Em relação aos anos de 1990 a 2005, o presente Inventário atualiza as informações apresentadas no Segundo Inventário.

Como diretriz técnica básica, foram utilizados os documentos elaborados pelo IPCC: “*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” publicado em 1997, o documento “*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*”, publicado em 2000, e o documento “*Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*”, publicado em 2003. Algumas das estimativas já levam em conta o documento “*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, publicado em 2006.

De acordo com as diretrizes, o Inventário deve ser completo, acurado, transparente, comparável, consistente e ser submetido a processo de controle de qualidade.

A elaboração do Inventário contou com a participação ampla de entidades governamentais e não-governamentais, incluindo ministérios, institutos, universidades, centros de pesquisa e entidades setoriais da indústria. Os estudos elaborados resultaram em um conjunto de Relatórios de Referência, do qual este relatório faz parte, contendo as informações utilizadas, descrição da metodologia empregada e critérios adotados.

Todos os Relatórios de Referência foram submetidos a uma consulta pública, com amplo envolvimento de especialistas que não participaram diretamente na elaboração do Inventário, como parte do processo de controle e garantia de qualidade. Esse processo foi essencial para assegurar a qualidade e a correção da informação que constitui a informação oficial do Governo Brasileiro submetida à Convenção de Mudança do Clima.

Sumário Executivo

Este relatório apresenta as estimativas das emissões de dióxido de carbono - CO₂, provenientes da produção de cimento, de cal, de outros usos do calcário e da dolomita com calcinação e do uso de carbonato neutro de sódio (barrilha), para o período 1990-2010. As emissões foram elaboradas com base nas diretrizes do *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, publicado em 1997, (IPCC, 1997), *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, publicado em 2000, (IPCC, 2000) e *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, publicado em 2006, (IPCC, 2006). De acordo com essas diretrizes, não são cobertas as emissões provenientes do uso de combustíveis para produção de energia, que são incluídas nos relatórios referentes à queima de combustíveis, nem as emissões pelo uso de calcário como insumo agrícola, que são incluídas nos relatórios referentes à mudança no uso da terra e florestas.

Outros usos do calcário e da dolomita com calcinação incluem sua utilização no setor siderúrgico, na produção de vidro e na produção de magnésio.

As fontes de emissão apresentadas neste relatório integram o grupo denominado de Produtos Minerais.

Em 2010, as emissões de CO₂ da produção de cimento foram estimadas em 39.119 Gg CO₂, com um crescimento de 48,7% em relação às emissões de 2005.

Em 2010, as emissões de CO₂ da produção de cal alcançaram a estimativa de 6.403 Gg CO₂, com um crescimento de 11% em relação às emissões de 2005.

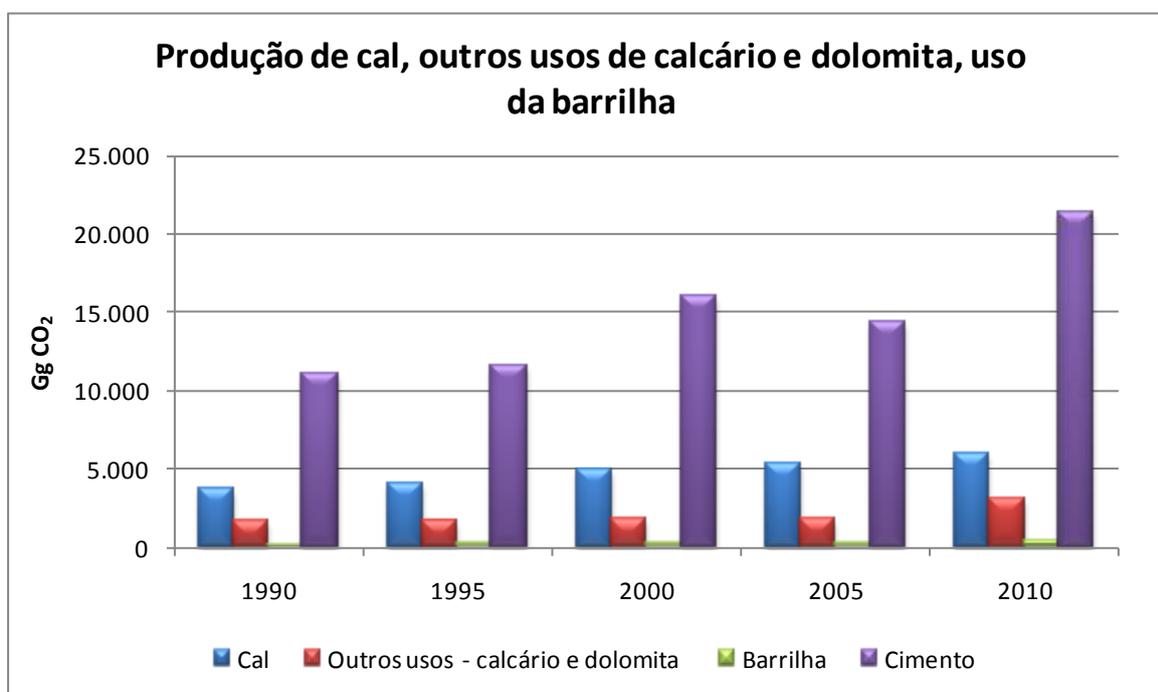
Outros usos do calcário e da dolomita com calcinação foram responsáveis por 3.060 Gg CO₂ em 2010, com um crescimento de 88% em relação às emissões de 2005.

A produção de carbonato neutro de sódio - da barrilha, no Brasil, não é fonte de emissão de CO₂ devido ao processo produtivo aqui utilizado, e apenas o uso dessa substância gera emissões de CO₂. Em 2010, foram estimadas emissões de 396 Gg CO₂, com um crescimento de 59,7% em relação às emissões observadas em 2005.

A Tabela I a seguir mostra as estimativas para os anos de 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010 juntamente com as variações entre 1990 e 2010. A Figura I mostra a evolução das emissões no período.

Tabela I - Emissões de CO₂ da produção de cimento, cal, outros usos do calcário e da dolomita e uso da barrilha

Emissões de CO ₂	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	Gg					%
Produção de cimento	20.161	21.071	29.227	26.307	39.119	48,7
Produção da cal	3.688	4.104	5.008	5.356	5.950	11,1
Outros usos do calcário e da dolomita	1.630	1.728	1.756	1.815	3.060	68,6
Uso da barrilha	182	247	243	248	396	59,7

Figura I - Emissões de CO₂ da produção de cimento, cal, outros usos do calcário e da dolomita e uso da barrilha

1 Introdução

A produção industrial pode emitir gases de efeito estufa não vinculados a produção e consumo de energia. Essas emissões provêm do próprio processo produtivo através das transformações físicas ou químicas dos materiais (IPCC, 2006). Segundo a classificação do IPCC (1997), os processos industriais compreendem Produtos Minerais, Indústria Química, Produção de Metais e Outros, como grandes grupos.

Este relatório contempla as emissões relacionadas aos Produtos Minerais. São aqui analisadas a Produção de Cimento, Produção de Cal, Outros Usos do Calcário e da Dolomita com Calcinação e o Consumo de Barrilha. Neste relatório são descritas as emissões referentes às atividades em que o calcário e a dolomita sofrem reação química (calcinação) quando submetidos a altas temperaturas, resultando na geração de CO₂. Complementando o sub-setor de Produtos Minerais, há também a descrição das emissões ligadas ao consumo de barrilha.

O calcário (CaCO₃) e a dolomita (CaCO₃.MgCO₃) são produtos minerais com uma ampla gama de aplicações. São utilizados na indústria de construção civil, como insumo agrícola (calagem de solos), na produção de cimento, na produção de cal, na indústria siderúrgica, na indústria de vidro, na produção de magnésio, na indústria de alimentação, na indústria de tintas, papel, plásticos, cerâmicas, na purificação do ar e tratamento de esgotos.

Em alguns desses usos, o calcário não sofre reação química, não havendo, portanto, emissões de CO₂. O uso na calagem de solos gera emissões de CO₂, que são descritas no Relatório de Referência de Uso da Terra e Florestas.

2 Emissão de CO₂ pela Calcinação de Calcário e Dolomita

2.1 Produção de Cimento

A produção do cimento requer a produção do clínquer, quando acontece a descarbonatação do calcário (CaCO₃). O CaCO₃ é calcinado e como resultado produz cal (CaO) e como sub-produto o CO₂. Depois de produzida, a cal (CaO) reage com a sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e o óxido de ferro (Fe₂O₃) formando o clínquer, um produto nodular intermediário, que é moído com uma porção de gesso para fabricação do cimento Portland.

Em escala mundial, aproximadamente 90% das emissões de CO₂ oriundas da fabricação de cimento ocorrem durante a produção de clínquer, seja na calcinação/descarbonatação da matéria-prima, seja com a queima de combustíveis no interior do forno. A parcela restante resulta do transporte de matérias-primas e das emissões pelo consumo de energia elétrica na fábrica.

A indústria do cimento nacional tem tradição no uso de cimentos com adições. O aproveitamento de subprodutos de outras atividades e matérias-primas alternativas é realizado há mais de 50 anos no país, prática que só mais recentemente vem sendo cada vez mais adotada no mundo. Essa prática, além de diversificar as aplicações e características específicas do cimento, propicia a redução das emissões de CO₂, tanto pela diminuição da produção de clínquer quanto pela redução do uso de combustíveis fósseis.

Nesta seção são abordadas apenas as emissões do processo de descarbonatação do calcário, que ocorrem no forno de calcinação para fabricação do clínquer. A parcela referente à queima de combustíveis no interior do forno é considerada, de acordo com as diretrizes metodológicas do IPCC, nos relatórios referentes ao Setor Energia.

2.1.1 Panorama do setor

O Brasil encontrava-se em sexto lugar na produção mundial de cimento em 2011, conforme informações do Relatório Anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2012), reproduzidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Maiores produtores (em milhões de toneladas)

	Países	2005	2006	2007	2008	2009	2010*	2011*
1	China	1.079,6	1.253,5	1.379,0	1.401,2	1.657,1	1.868,0	2.080,0
2	Índia	146,8	162,0	172,9	186,1	190,0	215,5	240,5
3	Estados Unidos	99,4	98,2	95,5	86,5	64,0	64,9	67,9
4	Turquia	45,6	49,0	50,8	53,4	57,6	62,0	67,8
5	Irã	32,7	35,3	40,0	44,4	48,8	61,3	66,4
6	Brasil**	39,2	42,4	47,2	52,3	52,1	59,2	64,1
7	Japão	72,7	73,2	71,4	67,6	59,6	54,0	56,4
8	Rússia	49,5	55,2	60,1	53,5	45,7	50,4	56,1
9	Vietnã	30,8	32,7	35,8	36,3	47,7	55,0	52,0
10	Arábia Saudita	26,1	27,1	30,4	37,4	37,8	41,0	48,4
11	Coréia do Sul	49,1	51,4	54,4	55,1	52,2	47,4	48,3
12	Egito	38,9	39,2	40,1	40,1	46,9	48,2	45,4
13	Indonésia	36,1	38,1	39,9	41,8	39,7	39,5	45,2
14	México	35,4	38,4	39,2	37,7	35,4	34,5	35,4
15	Alemanha	31,0	33,6	33,4	33,6	30,4	30,2	33,5
	Total mundial	2.344,8	2.608,0	2.797,7	2.841,5	3.033,0	3.345,0	3.638,0

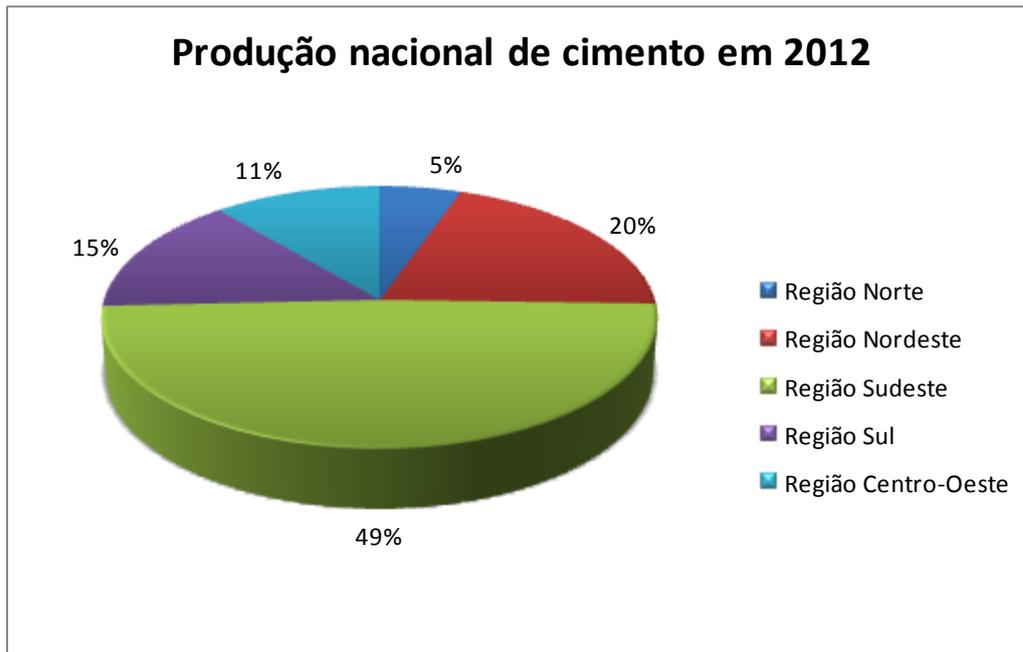
(*) Dados preliminares

(**) Incluída a estimativa da oferta de cimento oriundo de empresas não associadas ao SNIC.

Fonte: SNIC, 2012.

No Brasil, o cimento é produzido em diversas unidades da Federação. Em 2012 o parque industrial cimenteiro era constituído por 83 fábricas, das quais 53 eram fábricas integradas (sendo 46 associadas ao SNIC e 7 não-associadas), com forno de produção de clínquer, e 30 eram apenas moagens (sendo 22 associadas ao SNIC e 8 não-associadas), que partem do clínquer pronto. Estão presentes em todas as regiões brasileiras e plenamente capacitadas para atender à demanda interna. Em sua quase totalidade, as plantas são equipadas com fornos de via seca, dotados de pré-aquecedores e pré-calcinadores, além de modernos sistemas de controle. A Figura 1 a seguir apresenta a participação regional na produção de cimento no Brasil.

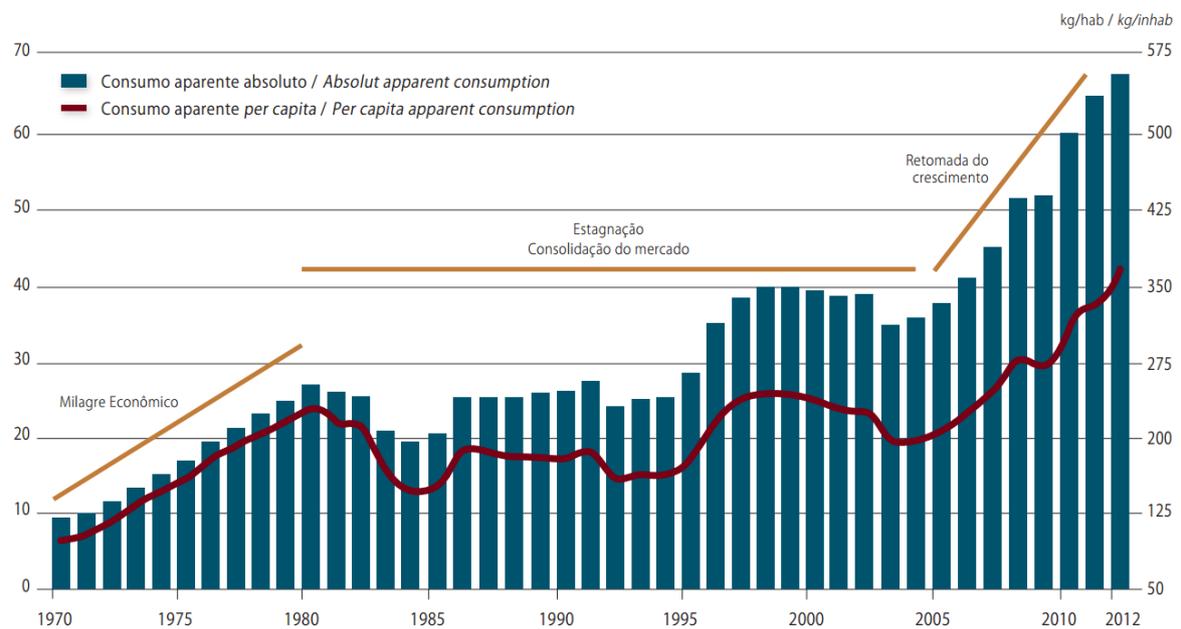
Figura 1 - Participação regional na produção de cimento - 2012



Fonte: SNIC, 2012

A Figura 2 a seguir mostra o histórico da produção nacional de cimento.

Figura 2 - Consumo aparente no Brasil (em milhões de toneladas)



Fonte: SNIC, 2012

Cimentos com adições

A indústria do cimento nacional tem tradição no uso de cimentos com adições. O aproveitamento de subprodutos de outras atividades e matérias-primas alternativas é realizado há mais de 50 anos no país, prática que só mais recentemente vem sendo cada vez mais adotada no mundo.

A produção de cimentos com adições ao clínquer, com materiais como escórias siderúrgicas, cinzas volantes, pozolanas artificiais e fíler calcário, além de diversificar as aplicações e características específicas do cimento, propicia a redução das emissões de CO₂, uma vez que diminui a produção de clínquer e, conseqüentemente, a queima de combustíveis e a emissão por calcinação.

Além disso, os cimentos com adições representam uma solução ambientalmente correta para subprodutos de outros processos produtivos, como escórias siderúrgicas e cinzas de termelétricas, contribuindo com a redução de passivos ambientais. Tudo isso atendendo, acima de tudo, as especificações das Normas Técnicas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Figura 3 - Normas Técnicas ABNT - Adições ao Cimento

<ul style="list-style-type: none"> • Cimento portland comum (1926) CP I-S ⇒ 1 - 5% adições • Cimento portland de alto forno (1952) CP III ⇒ 35 - 70% escória • Cimento portland pozolânico (1969) CP IV ⇒ 15 - 50% cinza volante • Cimento portland composto (1991) CP II-E ⇒ 6 - 34% escória CP II-Z ⇒ 6 - 14% cinza volante CP II-F ⇒ 6 - 10% calcário
--

Fonte: ABCP

A crescente utilização, desde longa data, de adições ao cimento no Brasil tem representado uma das mais eficazes medidas de controle e redução das emissões de CO₂ da indústria.

2.1.2 Metodologia

As Diretrizes para Preparação de Comunicações Nacionais de Países Não Incluídos no Anexo I da Convenção sobre Mudança do Clima (países em desenvolvimento), aprovadas na Oitava Conferência das Partes (17/CP.8), estabelecem que as metodologias a serem usadas nos Inventários Nacionais são as incluídas nas Diretrizes Revisadas de 1996 do IPCC para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, ou *Guidelines 1996* (IPCC, 1997). Os países são ainda encorajados a utilizar o Guia de Boas Práticas e Gerenciamento de Incertezas em Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (*Good Practice Guidance*) publicado pelo IPCC (IPCC, 2000).

Os *Guidelines 1996* (IPCC, 1997) e o *Good Practice Guidance* (IPCC, 2000) apresentam duas abordagens metodológicas (Tier 1 e Tier 2) que se baseiam nas quantidades produzidas de cimento e de clínquer, respectivamente. O *Good Practice Guidance 2000* observa que abordagens metodológicas mais detalhadas podem ser utilizadas, se forem justificadas e documentadas.

O setor cimenteiro brasileiro tem se empenhado na obtenção de informação detalhada necessária à aplicação da metodologia setorial da *Cement Sustainability Initiative* (CSI), uma iniciativa dos maiores grupos cimenteiros do mundo vinculada ao *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), com o objetivo de desenvolver uma série de ações de caráter ambiental, dentre as quais o controle e monitoramento das emissões de GEE. Essas informações são compatíveis com a abordagem Tier 3 das Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa de 2006 do IPCC (IPCC2006), que considera as composições das matérias primas (carbonatos) utilizadas, corrige as emissões pelo conteúdo de MgO e inclui outros parâmetros específicos como a correção da poeira do forno de cimento (*Cement Kiln Dust - CKD*), que é considerada como uma perda do sistema, e o carbono da matéria orgânica contido nas matérias primas.

Tendo em vista o objetivo de obtenção das estimativas mais acuradas possíveis optou-se neste relatório por utilizar a metodologia Tier 3 definida nos *Guidelines 2006* (IPCC, 2006), modificada a partir das informações disponíveis pela aplicação da metodologia CSI.

O processo de descarbonatação

Durante a produção de clínquer, o calcário, que é principalmente constituído de carbonato de cálcio (CaCO₃), é aquecido em fornos, junto com outras matérias primas, até produzir cal (CaO) e CO₂ como sub-produto, conforme demonstrado na Equação 1, no processo chamado de descarbonatação ou calcinação.



O CaO reage então com sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e óxido de ferro (Fe₂O₃) para formar o clínquer.

Entretanto, existem outros carbonatos presentes na matéria-prima, em menor escala, que não o CaCO_3 . Calcários magnesianos [MgCO_3] e dolomíticos [$\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$] possuem magnésio em sua composição. Quando submetidos à elevada temperatura, estes carbonatos fracionam-se também liberando CO_2 , conforme a Equação 2 e a Equação 3.



Comparação entre a metodologia Tier 3 dos Guidelines 2006 e a da CSI

Nos *Guidelines 2006* - Tier 3, basicamente, as emissões de CO_2 são calculadas tomando-se em conta a composição dos carbonatos consumidos durante o processo de descarbonatação do calcário no forno de calcinação do clínquer. Já na CSI, as emissões são baseadas nos teores de CaO e MgO presentes no clínquer.

Em ambas as metodologias é feita a correção para a parcela de poeira emitida a partir dos fornos (CKD) e não calcinada, e corrigidas eventuais quantidades relevantes de CaO e MgO no clínquer geradas por fontes não-carbonáceas, ou seja, que não foram originadas na descarbonatação no forno de clínquer - portanto sem emissões associadas no processo, como por exemplo silicatos de cálcio ou *fly ashes* (cinzas volantes) usados no forno, como corretivos químicos do cru, porém esta não é uma prática comum na indústria cimenteira brasileira, apenas algumas fábricas o fazem.

Tier 3 - Guidelines 2006

A Equação 4 abaixo, apresentada no Tier 3 *Guidelines 2006* é utilizada para calcular as emissões baseadas nos dados das matérias primas consumidas na produção do clínquer, com desconto das emissões de CKD não calcinadas (perdas do sistema) e considerando as emissões de matéria-prima não-energética que contenha carbono.

$$\text{Emissões de } \text{CO}_2 = \underbrace{\sum_i (FE_i \times M_i \times F_i)}_{\text{Emissões dos Carbonatos}} - \underbrace{M_d \times C_d \times (1 - F_d) \times FE_d}_{\text{Emissões de CKD não-calcinadas que não são reinjetadas no forno}} + \underbrace{\sum_k (M_k \times X_k \times FE_k)}_{\text{Emissões de materiais não-energéticos que contenham carbono}}$$

Equação 4

- Primeira parcela - emissões dos carbonatos

Para cada carbonato serão necessários: a massa correspondente (M_i), o respectivo fator de emissão (FE_i) e a fração de calcinação (Fi) alcançada por cada substância. De acordo com os Guidelines 2006, o grau de calcinação atingido por todos os materiais é de 100% ($Fi = 1$), ou bem próximo desse valor, devido à alta temperatura e ao tempo de residência de tais materiais no forno.

- Segunda parcela - correção do CKD

São necessárias a massa de poeira - CKD - não reciclada no forno (M_d), a fração de carbonato nessa massa (C_d), sua fração de calcinação (F_d) e respectivo fator de emissão (FE_d). Caso toda a poeira tenha sido calcinada, ou toda a poeira seja reciclada no forno, esse termo se anula. A parte do CKD não-calcinada, que não seja reinjetada, pode ser considerada como uma fonte de falsa contagem de CO_2 , pois teria sido contabilizada junto com o total da matéria-prima calcinada, devendo, portanto, haver o desconto correspondente. Pelo Good Practice Guidance 2000, sugere-se apenas uma correção de 1,5% a 2% nas emissões calculadas para o clínquer, nas plantas modernas.

- Terceira parcela - emissões de matéria-prima não-energética adicional aos carbonatos que contenha carbono

São necessárias a massa dessa matéria prima não-energética que contenha carbono (M_k), a fração de carbono (X_k) e respectivo fator de emissão (FE_k). Isso significa uma emissão de CO_2 adicional à emissão resultante do processo de descarbonatação.

Segundo o IPCC, as emissões de CO_2 referentes a esse termo podem ser ignoradas se a contribuição desse carbono for menor que < 5 % do calor total dos combustíveis.

Metodologia CSI

- Emissões dos Carbonatos

A partir do conhecimento das frações de CaO e MgO do clínquer, obtida por análises químicas em cada fábrica, chega-se ao fator de emissão relacionado ao processo de descarbonatação. Corresponde ao termo “Emissões dos Carbonatos” da Equação 4 acima e pode ser calculado como a soma dos dois fatores de emissão relacionados aos óxidos:

$$FE_{clínquer} = FE_{CaO} + FE_{MgO}$$

Equação 5

onde,

$$FE_{CaO} = \underbrace{\text{teor } CaO}_{\substack{\text{das análises} \\ \text{químicas}}} \times \left(\frac{44,0 \text{ g / mol } CO_2}{\underbrace{56,1 \text{ g / mol } CaO}_{0,7843}} \right)$$

Equação 6

$$FE_{MgO} = \underbrace{\text{teor } MgO}_{\substack{\text{das análises} \\ \text{químicas}}} \times \left(\frac{44,0 \text{ g / mol } CO_2}{\underbrace{40,3 \text{ g / mol } MgO}_{1,0918}} \right)$$

Equação 7

Os teores de CaO e MgO são apresentados como fração adimensional.

Basicamente, as duas abordagens - CSI e Tier 3 dos *Guidelines 2006* - convergem para os mesmos valores de emissões, pois são baseados na estequiometria do processo.

Para os casos das plantas que não possuíam dados específicos sobre os teores CaO e MgO contidos no clínquer foi aplicado o FE *default* recomendado pela metodologia CSI de 0,525 tCO₂/t clínquer, fator este que já possui a correção pelo conteúdo de MgO, sugerido tanto pela CSI (em torno de 2%) quanto pelos *Guidelines 2006* (entre 1 e 2%). Tal valor é semelhante ao do FE de referência utilizado pelo *Good Practice Guidance 2000* de 0,51 t CO₂/t clínquer, se a ele for acrescentada a correção relativa ao conteúdo de MgO (2% x 1,0918 = 0,022 t CO₂ / t clínquer). Em ambos os casos não há correção para CKD incluída.

- Emissões da poeira dos fornos (CKD)

A poeira emitida a partir dos fornos (CKD) é uma poeira que varia de não- calcinada a calcinada. Tal CKD pode ser parcialmente ou totalmente reciclada quando reinjetada no forno de calcinação. A parte do CKD calcinada, que não seja reinjetada, pode ser considerada como fonte de emissão adicional de CO₂, pois não é contabilizada pela análise química do clínquer.

- Emissões do carbono orgânico contido na matéria prima

Em adição aos carbonatos, as matérias-primas utilizadas na produção de clínquer usualmente contêm uma pequena fração de carbono orgânico, o qual é convertido em CO₂ durante a queima em sua maior parte. Os teores de carbono orgânico total nas matérias-primas (TOC) podem variar substancialmente devido a diferenças de localização e matérias-primas utilizadas.

Dados compilados pelo CSI indicam valores típicos de carbono orgânico na farinha entre 0,1 - 0,3%. As emissões de CO₂ de carbono orgânico na farinha podem ser quantificadas e registradas pela fábrica. Entretanto, uma vez que sua contribuição no total de emissões é pequena, o *default* de 11

kg CO₂/t clínquer é sugerido, com base na multiplicação dos seguintes parâmetros da Equação 8 a seguir:

$$FE_{matéria\ orgânica} = \text{Fator "farinha / clínquer" padrão} \times TOC \times \text{relação pesos moleculares CO}_2 / C$$

Equação 8

onde,

Fator “farinha/clínquer” padrão: 1,55 t farinha / t clínquer

- TOC - teor de carbono orgânico na farinha: 2 kg TOC / t farinha
- Relação entre os pesos moleculares do CO₂ / C: 3,664 kg CO₂ / kg C

Essa multiplicação assume que todo carbono orgânico é convertido em CO₂.

Ou seja, pela metodologia do CSI, as emissões de CO₂ do carbono contido na matéria prima são calculadas com as informações das próprias fábricas, ou é aplicado o *default* de 11 kg CO₂ / t clínquer conforme a Equação 8 acima.

Neste relatório foi usado o *default* recomendado pela metodologia CSI e também aqui, as duas abordagens são equivalentes.

Conclusão da comparação entre a metodologia da CSI e a dos Guidelines 2006

Do exposto acima, verifica-se que as estimativas de emissões calculadas com as duas metodologias são compatíveis entre si. Quando não se dispuser de dados completos para sua aplicação, será utilizado o FE de 0,536 tCO₂/t clínquer considerando-se o carbono orgânico contido na matéria prima.

2.1.3 Dados

A partir da obtenção das séries históricas específicas das plantas no Segundo Inventário Nacional, continuou-se a coleta de dados nas empresas associadas ao SNIC para o Terceiro Inventário. Tais dados foram obtidos de forma que as estimativas das emissões pudessem ser calculadas pelo método mais acurado possível.

Os dados coletados compreenderam:

- Os teores de CaO e MgO que compõem a produção do clínquer por planta, por ano¹;
- A quantidade de clínquer produzida, adquirida e vendida por planta, por ano;
- A quantidade de cimento produzida por tipo; e
- As quantidades dos compostos minerais como gesso, calcário, escória, *fly ash*, pozolanas e CKD utilizados para produção do cimento.

Segundo o levantamento, a grande maioria das plantas brasileiras reinjeta o CKD novamente no forno de clínquer, ou seja, não há perdas do sistema e, portanto, não se faz necessária qualquer correção por CKD.

Algumas poucas empresas direcionam o CKD previamente calcinado para misturá-lo ao cimento e fazer um cimento especial com baixo teor de álcalis, prática pouco comum no Brasil. Nesses casos, porém, o fator de emissão do CKD foi considerado no cálculo das emissões nacionais, alcançando um percentual médio variando entre 0,4% e 1,1% das emissões da produção de clínquer, conforme as informações providas pelas plantas que realizam tal mensuração.

A coleta dos dados foi realizada através de uma consulta do SNIC junto a seus associados. Por motivos de sigilo industrial só serão abertos nesta seção os dados consolidados de produção de clínquer, cimento e o respectivo conteúdo de clínquer no cimento, no âmbito nacional.

Integração dos dados do SNIC com o restante da produção nacional

Para se considerar as emissões totais do Brasil, o SNIC estimou as quantidades de clínquer produzidas pelas empresas não associadas e aplicou o mesmo fator de emissão implícito anual para as emissões de CO₂ de suas associadas.

¹ As análises químicas que deram origem aos registros dos teores dos óxidos de cálcio e magnésio no clínquer foram realizadas com diferentes periodicidades, dependendo da planta.

Na Tabela 2 são apresentados os dados das produções nacionais de cimento e clínquer.

Tabela 2 - Produção nacional de cimento e clínquer e conteúdo de clínquer no cimento

Ano	Produto		Conteúdo de clínquer no cimento
	Clínquer	Cimento	
	1.000 t		t clínquer / t cimento
1990	20.161	25.848	0,780
1991	21.458	27.490	0,781
1992	17.748	23.903	0,742
1993	18.407	24.843	0,741
1994	18.412	25.230	0,730
1995	21.071	28.256	0,746
1996	25.346	34.597	0,733
1997	27.971	38.096	0,734
1998	29.684	39.942	0,743
1999	29.941	40.234	0,744
2000	29.227	39.901	0,732
2001	27.791	39.454	0,704
2002	26.178	38.927	0,672
2003	23.681	35.122	0,674
2004	23.945	35.983	0,665
2005	26.307	38.706	0,680
2006	28.468	41.896	0,679
2007	31.768	46.551	0,682
2008	34.482	51.970	0,664
2009	34.737	51.747	0,671
2010	39.119	59.117	0,662

Fonte: SNIC

Na Tabela 3, a seguir, são apresentados os pesos moleculares das substâncias químicas envolvidas no processo de descarbonatação.

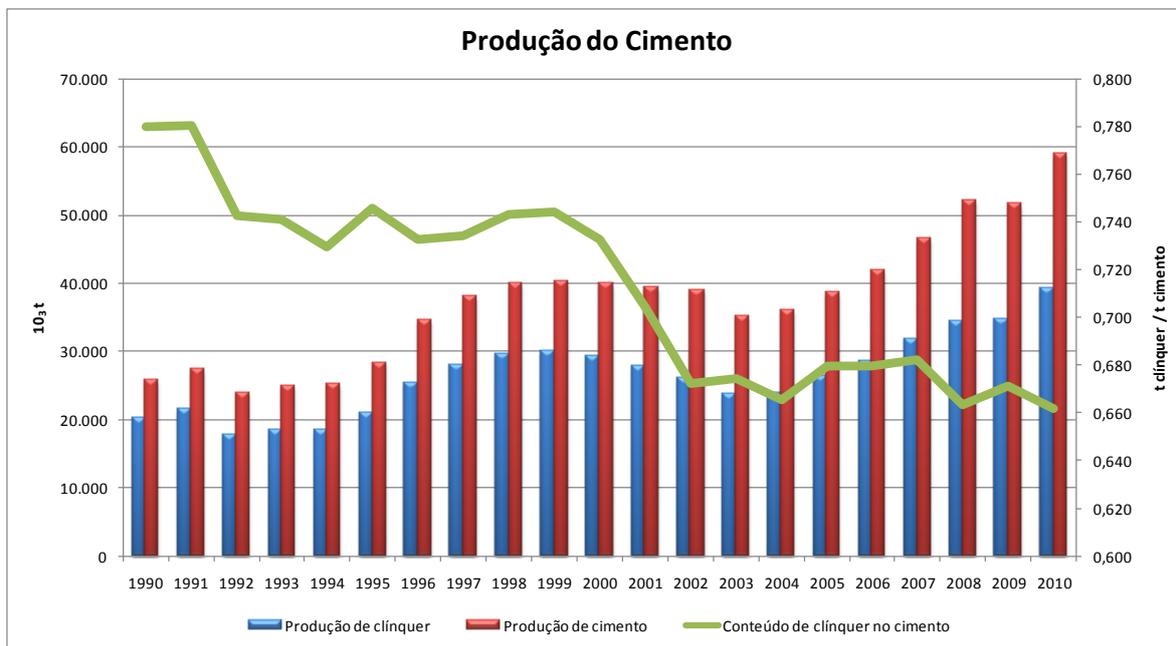
Tabela 3 - Massas moleculares das substâncias relacionadas ao processo de descarbonatação

Massas moleculares	g/mol
Carbonato de cálcio - CaCO ₃	100,1
Carbonato de magnésio - MgCO ₃	84,3
Óxido de cálcio - CaO	56,1
Óxido de magnésio - MgO	40,3
Dióxido de carbono - CO ₂	44,0

Fonte: CSI / WBCSD, 2005

A Figura 4 mostra a evolução das produções de cimento e clínquer, juntamente com o conteúdo médio de clínquer no cimento, de 1990 a 2010.

Figura 4 - Produções de cimento e de clínquer, e conteúdo de clínquer no cimento



Fonte: Elaboração própria com base em SNIC

Tratamento dos dados

Os registros da composição dos óxidos MgO e CaO no clínquer começaram a ser arquivados com maior frequência no Brasil apenas após os anos 2000, quando começou a ser aplicada a metodologia setorial CSI. Assim, as empresas utilizaram os dados obtidos nessas análises mais atualizadas também para os outros anos.

Todos os dados básicos e emissões das plantas individuais foram agregados para apresentação neste Inventário.

2.1.4 Resultados

Os resultados das emissões de CO₂ provenientes do processo de produção do cimento, que ocorrem dentro do forno de calcinação do clínquer estão apresentados na Tabela 4 a seguir, compreendendo o período de 1990 a 2010.

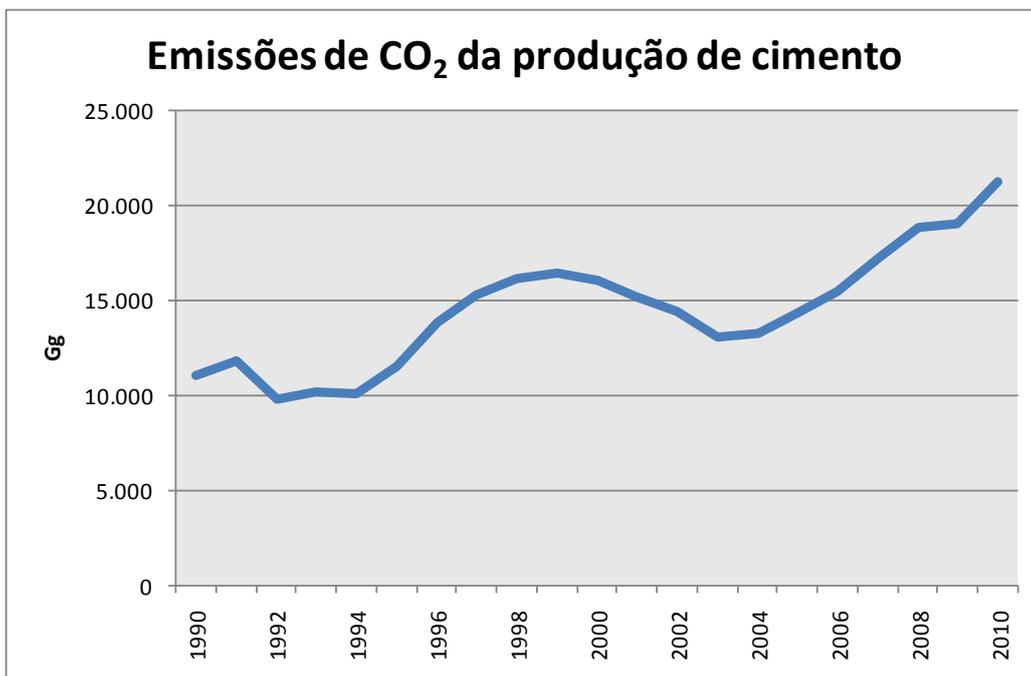
Tabela 4 - Emissões de CO₂ do processo de decarbonatação do calcário na produção de clínquer na indústria do cimento

Ano	Emissões de CO ₂	Fator de Emissão Implícito	
		Clínquer	Cimento
	Gg	t CO ₂ / t produto	
1990	11.062	0,549	0,428
1991	11.776	0,549	0,428
1992	9.770	0,550	0,409
1993	10.164	0,552	0,409
1994	10.086	0,548	0,400
1995	11.528	0,547	0,408
1996	13.884	0,548	0,401
1997	15.267	0,546	0,401
1998	16.175	0,545	0,405
1999	16.439	0,549	0,409
2000	16.047	0,549	0,402
2001	15.227	0,548	0,386
2002	14.390	0,550	0,370
2003	13.096	0,553	0,373
2004	13.273	0,554	0,369
2005	14.349	0,545	0,371
2006	15.440	0,542	0,369
2007	17.200	0,541	0,369
2008	18.884	0,548	0,363
2009	19.031	0,548	0,368
2010	21.288	0,544	0,360

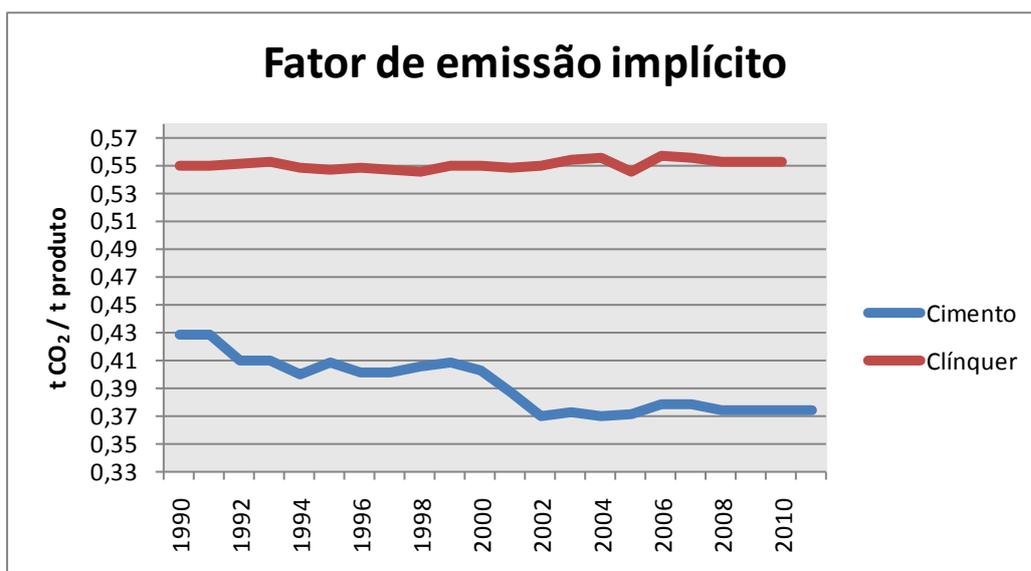
Fonte: SNIC

A evolução das emissões encontra-se na Figura 5 a seguir.

Figura 5 - Emissões da produção de cimento no Brasil, de 1990 a 2010



A Figura 6 mostra a evolução dos fatores de emissão implícitos para CO₂, considerando-se tanto o cimento quanto o clínquer produzido. Nota-se que as adições de outros componentes no cimento em substituição ao clínquer faz com que o fator de emissão implícito do cimento venha diminuindo ao longo dos últimos anos.

Figura 6 - Fatores de emissão implícitos para as emissões CO₂ referentes à produção de cimento e de clínquer

2.2 Produção de Cal

A cal é um produto com diversas aplicações, entre as quais se podem destacar a metalurgia, a construção civil, a indústria de papel e celulose, indústrias químicas e de alimentos, o tratamento de água e de efluentes, o controle de pH e a estabilização de solos.

Em 2010, o Brasil era responsável por 2,5% da produção mundial de cal, sendo o quarto maior produtor, antecedido pela China, Estados Unidos e Índia, nessa ordem.

São produzidos, basicamente, dois tipos de cal: a cal virgem, também chamada cal viva ou ordinária e a cal hidratada, que é resultado da combinação química entre a cal virgem e água.

O termo cal é utilizado, na literatura brasileira e nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, para designar o produto composto por óxido de cálcio (CaO) e por óxido de cálcio e magnésio (CaOMgO), resultantes da calcinação de calcários, calcários magnesianos e dolomitos. A cal é classificada conforme o percentual de óxido de cálcio total:

- Cal calcítica ou cálcica - com óxido de cálcio (CaO) entre 100 e 90% do peso total;
- Cal magnésiana - com teores intermediários de óxido de cálcio, entre 90 e 65% do peso total;
- Cal dolomítica - com óxido de cálcio entre 65 e 58% do peso total.

Sendo assim, ao referir-se a um tipo de cal, refere-se na realidade a uma gama de produtos, com composições de CaO e CaO.MgO variáveis.

A cal é formada pelo aquecimento do calcário para decompor os carbonatos, num processo chamado de calcinação ou descarbonatação. Isso é feito em altas temperaturas e diferentes tipos de fornos: rotativos (~12% da produção), vertical de fluxo paralelo regenerativo (~44%), verticais de cuba simples (tipo Azbe) (~27%) e de alvenaria (~17%). O processo libera dióxido de carbono, de acordo com a seguinte equação:



Já a cal hidratada é obtida a partir da cal virgem, com operações de adição de água. Dolomita pode também ser processada em altas temperaturas para se obter cal dolomítica (e liberação de CO₂) de acordo com a seguinte reação:



2.2.1 Metodologia

A massa de CO₂ produzida por unidade de cal fabricada pode ser estimada pelos pesos moleculares e o conteúdo de cal dos produtos. Com base na reação de calcinação, um mol de dióxido de carbono é formado para cada mol de cal virgem produzido pela calcinação do carbonato de cálcio. Nos casos em que dolomita é calcinada, o fator de emissão é baseado na proporção dos óxidos de cálcio e magnésio.

Conforme a Tabela 2-2 do IPCC 1996, os fatores de emissão de CO₂ são apresentados:

Para a cal virgem:

$$FE = 44,01 \text{ g/mol CO}_2 / 56,08 \text{ g/mol CaO}$$

$$= 0,785 \text{ t CO}_2 / \text{ t cal virgem.}$$

Para cal dolomítica:

$$FE = 2 \times 44,01 \text{ g/mol CO}_2 / 96,39 \text{ g/mol CaO.MgO}$$

$$= 0,913 \text{ t CO}_2 / \text{ t cal dolomítica.}$$

Em ambos os casos as fórmulas supõem cal pura, mas em alguns casos a pureza pode variar de 85% a 95% (IPCC, 1997). Nesses casos, as fórmulas devem ser ajustadas de acordo com a pureza da cal.

Na prática, como há mistura de calcários, calcários magnesianos e dolomitos, as cales resultantes têm conteúdos variáveis de CaO e de CaO.MgO. No Brasil a seguinte classificação é adotada:

Tabela 5 - Classificação da cal

Classificação da cal	% CaO total
Calcítica	90 - 100
Magnesiana	65 - 90
Dolomítica	58,2 - 65

Fonte: Elaboração própria, conforme ABNT

Usando-se as relações estequiométricas, pode-se chegar à seguinte tabela de correspondência entre percentual de CaO total com a composição da cal, considerando-se uma participação variável entre CaO e CaO.MgO:

Tabela 6 - Relação entre o percentual total de CaO na cal e sua composição

% CaO total	CaO	CaO.MgO
58,2	0,0%	100,0%
65,0	16,3%	83,7%
90,0	76,1%	23,9%
100,0	100,0%	0,0%

Na falta de uma caracterização completa das cales no país, adotaram-se, para este relatório, os valores médios de percentual de CaO total, resultando nas seguintes proporções de CaO e CaO.MgO, com os correspondentes fatores de emissão:

Tabela 7 - Fatores de emissão por tipo de cal

Classificação da cal	CaO médio*	CaO.MgO médio*	FE (t CO ₂ /t cal)
Calcítica	88,0%	12,0%	0,800
Magnésiana	46,2%	53,8%	0,854
Dolomítica	8,2%	91,8%	0,903

*considerado somente o percentual de CO₂ total, sendo desconsiderados os outros parâmetros que interferem na quantidade de CO₂ emitido

2.2.2 Dados

A Associação Brasileira de Produtores de Cal - ABPC é a principal fonte de informação sobre os números do setor, sendo base também para o Sumário Mineral do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.

Foram obtidos dados sobre a produção de cal virgem e hidratada da Associação Brasileira de Produtores de Cal - ABPC, que reporta informação das empresas associadas, das empresas de mercado cativo e avalia as não associadas. As empresas de mercado cativo são as que suprem suas necessidades com produção própria, basicamente as grandes siderúrgicas, que têm na cal um insumo estratégico de larga importância, a ponto de justificar a manutenção de instalações próprias de produção. Em 2009 as empresas associadas foram responsáveis por 51% da produção nacional, o mercado cativo possuía 22% e as não associadas tiveram uma participação estimada em 27%. A partir de 2010, quando alguns fornos de siderúrgicas passaram a vender para o mercado aberto, a ABPC mudou a forma da informação, indicando apenas o mercado cativo e o mercado aberto, com participações de 13% e 87%, respectivamente. Em 2012 o mercado cativo representou 12% da produção nacional.

Segundo a ABPC, os dados do período 1990-1994 das empresas não associadas basearam-se em dados de produção geral publicados pelo DNPM, e a partir de 1995 os dados foram baseados em estimativas e estatísticas da associação (ver Anexo 1).

Para as produções de não-associados de 1990 a 1994, a ABPC informa que os dados de produção foram os publicados no Sumário Mineral. Em relação aos anos de 1995 em diante há algumas divergências entre o Sumário Mineral e a ABPC, com variações situadas entre +13% e -10%. Como a informação do Sumário Mineral é expressamente baseada na ABPC e esta fez atualizações posteriores às publicações do Sumário, optou-se neste relatório por utilizar os dados de produção da ABPC.

Além disso, até 1996, as estimativas de produção de não associados à ABPC referiam-se apenas a dados gerais, e não separavam Cal Virgem da Cal Hidratada. Para efeito deste relatório e estimativa das emissões da produção da cal, para esses primeiros anos foi feita uma aproximação quanto à separação dos dois tipos de cal: o percentual médio de Cal Virgem dos anos 1997 e 1998 (42%) dos não-associados foi aplicado aos anos 1990 a 1996; para 1999, adotou-se o percentual médio de 1998 e 2000 (55%).

Tabela 8 - Produção de cal no Brasil

Produto	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	Produção (mil t)					%
Cal virgem - associados à ABPC ⁽¹⁾	1.335	1.444	1.595	2.189	4.677	26,1
Cal virgem - não-associados à ABPC ⁽³⁾	646	546	1.491	1.521		
Cal virgem - produção cativa ⁽²⁾	1.048	1.427	1.546	1.392	995	-28,5
Cal virgem total	3.029	3.417	4.632	5.102	5.672	11,2
Cal hidratada - associados à ABPC	978	1.273	1.244	1.165	2.089	10,8
Cal hidratada - não-associados à ABPC	893	754	682	720		
Cal hidratada total	1.871	2.027	1.926	1.885	2.089	10,8
Total	4.900	5.444	6.558	6.987	7.761	58,4

Fonte: ABPC

⁽¹⁾ produção informada à ABPC pelas empresas associadas

⁽²⁾ produção própria informada à ABPC por CSN, Cosipa, Açominas, Usiminas, CST, White Martins e Cia. Nacional de Álcalis

⁽³⁾ valores estimados (ver notas)

NOTA:

A - As produções de não-associados indicadas de 1990 a 1994 baseiam-se nos dados de produção geral publicados pelo DNPM

B - As produções de não-associados indicadas a partir de 1995 baseiam-se em dados estimados pela própria ABPC

C - Em 1997 as estimativas de produção de não-associados passaram a separar Cal Virgem e Cal Hidratada, permitindo melhor agrupamento dos dados planilhados

D- A partir de 2010 a separação é entre mercado cativo e aberto.

Também é necessário identificar, no caso da cal hidratada, a parcela relativa à água para que seja subtraída da produção total e se obter, assim, a produção seca (cal virgem) correspondente. Cada tonelada de cal virgem dá origem a 1,27 toneladas de cal hidratada², o que equivale a dizer que 21,3% do peso da cal hidratada são constituídos de água.

Outra informação importante para fins deste inventário é a composição da cal produzida no país. De acordo com informações da ABPC, a cal virgem é basicamente calcítica (80-85%). A cal hidratada

² Essa informação provém das edições anteriores do inventário nacional e é compatível com o valor de 1,3 do Anuário Estatístico do Setor Transformação de Não Metálicos (MME, 2013).

é dividida em calcítica, 20% a 30%, e dolomítica, 70% a 80%. Esse percentual da cal dolomítica pode ser ainda subdividido entre dolomítica, propriamente dita, e magnesiana. Para este inventário foram usados os seguintes percentuais:

- Cal calcítica = 100% de cal virgem + 20% de cal hidratada sem água
- Cal magnesiana = 50% da cal hidratada sem água
- Cal dolomítica = 30% da cal hidratada sem água

2.2.3 Resultados

Na Tabela 9 e na Tabela 10 a seguir são apresentados os resultados para anos selecionados.

Efetua-se o cálculo das emissões multiplicando-se a quantidade de cal produzida, subtraída da água referente à eventual hidratação, pelo fator de emissão da cal, segundo o tipo de cal.

Com as informações obtidas anteriormente, pode-se apresentar os seguintes tipos de cal e respectivas quantidades de produção, descontada a água:

Tabela 9 - Tipos de cales produzidas, sem água

Produto	1990	1995	2000	2005	2010
	Produção (mil t)				
Cal calcítica - sem água	3.324	3.736	4.935	5.399	6.001
Cal magnesiana - sem água	736	798	758	742	789
Cal dolomítica - sem água	442	479	455	445	474
Total	4.502	5.013	6.149	6.586	7.264

Com os fatores de emissão apresentados na Tabela 7, obtêm-se as emissões de CO₂ oriundas da produção da cal no Brasil:

Tabela 10 - Emissões da produção da cal no Brasil

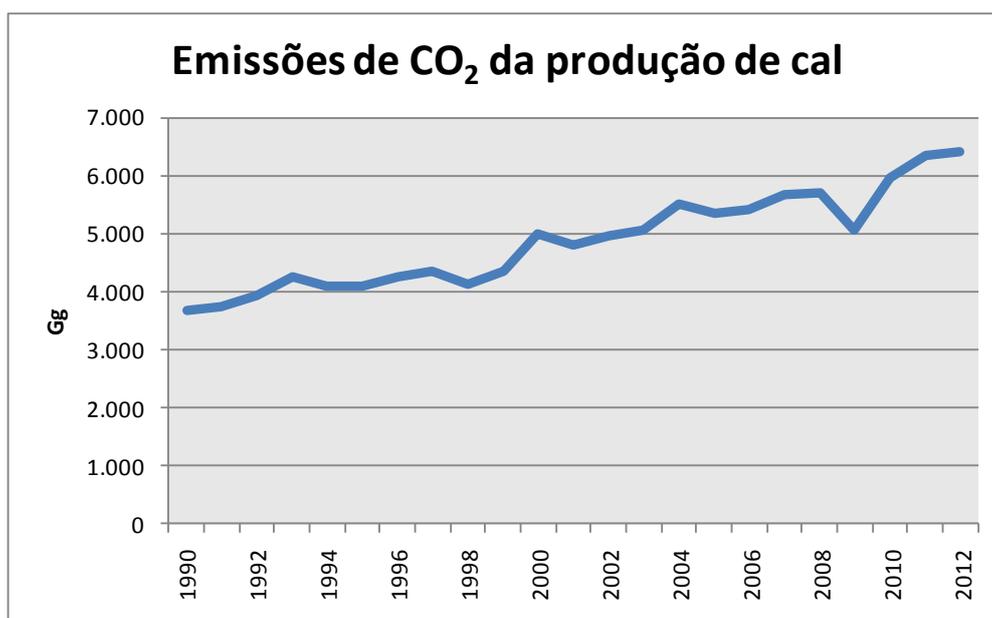
Produto	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	Gg CO ₂					%
Emissões da cal calcítica	2.660	2.990	3.950	4.321	4.803	11,2
Emissões da cal magnesiana	629	681	647	634	702	10,8
Emissões da cal dolomítica	399	432	411	402	445	10,8
Emissões de CO₂	3.688	4.104	5.008	5.356	5.950	11,1

A Tabela 11 apresenta as emissões para todos os anos, enquanto a Figura 7 mostra a evolução das emissões anuais de CO₂ da produção da cal no Brasil:

Tabela 11 - Emissões de CO₂ do setor da cal no Brasil, de 1990 a 2012

Ano	Emissões da Cal Calcítica	Emissões da Cal Magnésiana	Emissões da Cal Dolomítica	Total
	Gg CO ₂			
1990	2.660	629	399	3.688
1991	2.670	664	421	3.755
1992	2.869	660	419	3.948
1993	3.064	720	457	4.241
1994	3.027	655	416	4.098
1995	2.990	681	432	4.104
1996	3.056	729	463	4.248
1997	3.176	711	451	4.338
1998	3.021	686	435	4.141
1999	3.110	743	471	4.325
2000	3.950	647	411	5.008
2001	3.765	640	406	4.811
2002	3.941	621	394	4.956
2003	4.043	624	396	5.064
2004	4.347	709	449	5.505
2005	4.321	634	402	5.356
2006	4.363	640	406	5.410
2007	4.566	673	427	5.666
2008	4.583	678	430	5.690
2009	3.924	695	441	5.060
2010	4.803	702	445	5.950
2011	5.222	682	433	6.337
2012	5.301	674	427	6.403

Figura 7 - Emissões da produção da cal no Brasil 1990-2012



2.3 Outros Usos de Calcário e Dolomita com Calcinação

Similarmente aos processos de produção do cimento e da cal, existem outros usos onde o calcário (CaCO_3) e a dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) são submetidos a altas temperaturas e onde CO_2 é liberado, ao mesmo tempo em que a cal também produzida entra em diversas outras reações. Neste item estão englobados os processos que envolvem a calcinação de calcário e dolomita, fora os relativos ao cimento e à cal.

2.3.1 Metodologia

A massa de CO_2 emitida pela calcinação do calcário e da dolomita pode ser estimada a partir do consumo e pureza das matérias primas, através da estequiometria dos processos químicos.

Com base na reação de calcinação, um mol de dióxido de carbono é formado para cada mol de calcário. Assim, o fator de emissão de CO_2 para o uso do calcário é:

$$FE_{\text{calc}} = f \times (44,01 \text{ g/mol } \text{CO}_2) / (100,09 \text{ g/mol } \text{CaCO}_3)$$

$$= (0,440 \times f) \text{ t } \text{CO}_2 / \text{ t calcário.}$$

onde,

f é a fração indicativa da pureza do calcário (t em tonelada de CaCO_3 / t minério), sendo considerada igual a 1 caso a pureza não seja conhecida.

Para a dolomita:

$$FE_{\text{dolom}} = f \times (2 \times 44,01 \text{ g/mol } \text{CO}_2) / (184,41 \text{ g/mol } \text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3)$$

$$= (0,477 \times f) \text{ t } \text{CO}_2 / \text{ t dolomita.}$$

onde,

f é a fração indicativa da pureza da dolomita (t em tonelada de $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ / t minério), sendo considerada igual a 1 caso essa pureza não seja conhecida.

No caso da produção de magnésio a quantidade de matéria prima (dolomita) empregada é estimada a partir da produção de magnésio.

2.3.1.1 Siderurgia

Na siderurgia, calcário e dolomita são usados como fundentes nos alto-fornos com o propósito de retirar impurezas existentes no metal e de tornar a escória mais fluida. No caso do ferro e do aço o fundente mais comum é o calcário.

⇒ **Dados**

Os consumos das matérias primas calcário e dolomita (Tabela 12) foram obtidos nos documentos a seguir. A série histórica completa (1990-2012) é apresentada no Anexo 2.

- IBS - Anuário Estatístico - 1998 (IBS, 1998), para os anos de 1990 a 1997.
- SMM/MME - Anuário Estatístico - Setor Metalúrgico - 2003 (MME, 2003), para os anos de 1998 a 2002.
- SMM/MME - Anuário Estatístico - Setor Metalúrgico - 2006 (MME, 2006), para os anos de 2003 a 2005.
- SMM/MME - Anuário Estatístico - Setor Metalúrgico - 2012 (MME, 2013), para os anos de 2006 a 2012.

Tabela 12 - Consumo de calcário e dolomita do setor metalúrgico

Produto	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	Produção (mil t)					%
Calcário	4.243	4.552	5.228	4.750	5.433	14,4
Dolomita	1.027	1.531	1.106	1.319	2.603	97,3

Fonte: MME - SMM

⇒ **Cálculo**

O consumo de calcário e dolomita informado na Tabela 12 engloba a utilização de insumos para produção de cal do mercado cativo, conforme contabilizado pela ABPC e informado na Tabela 8. O mercado cativo é basicamente formado pelas siderúrgicas, que produzem exclusivamente cal virgem. Então, pela relação estequiométrica entre o calcário e a cal, retirou-se a quantidade de calcário utilizada na produção de cal do total informado no setor metalúrgico, resultando a Tabela 13.

Relação = $100,09 \text{ g/mol CaCO}_3 / 56,08 \text{ g/mol CaO}$

= 1,785

Tabela 13 - Outros usos do calcário e dolomita na siderurgia, exceto a produção cativa de cal

Produto	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	mil t					%
Calcário, fora o usado para cal	2.373	2.005	2.469	2.266	3.657	61,4
Dolomita	1.027	1.531	1.106	1.319	2.603	97,3

Fonte:Elaboração própria com base em MME - SMM

Usando os fatores de emissão do Item 2.3.1, com o fator $f = 1$, pois não se conhece a pureza dos minérios, chega-se às emissões relativas à calcinação desses minerais, conforme tabela a seguir.

Tabela 14 - Emissões relativas a outros usos do calcário e dolomita na siderurgia, fora o uso para produção cativa de cal

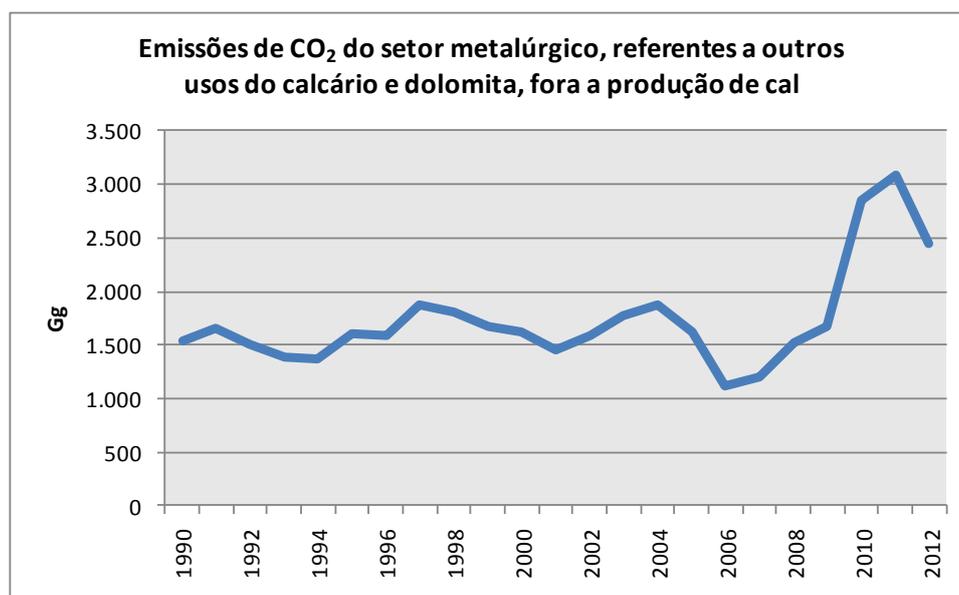
Emissões de CO ₂ na siderurgia, por calcinação	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	Gg					%
do calcário, fora o usado para cal	1.044	882	1.086	997	884	-11,3
da dolomita	490	730	528	629	788	25,3
Total	1.534	1.613	1.614	1.626	1.672	2,8

A Tabela 15 apresenta essas mesmas emissões, para os anos de 1990 a 2012, sendo que a Figura 8 mostra a evolução dessas emissões.

Tabela 15 - Emissões relativas a outros usos do calcário e dolomita na siderurgia, fora o uso para produção cativa de cal, para o período de 1990 a 2012

Ano	Emissões do setor siderúrgico		
	do calcário, fora o usado para produção de cal	da dolomita	Total
	Gg CO ₂		
1990	1.044	490	1.534
1991	1.195	454	1.649
1992	1.057	448	1.505
1993	900	481	1.381
1994	807	570	1.376
1995	882	730	1.613
1996	996	590	1.586
1997	1.178	701	1.879
1998	1.063	747	1.809
1999	951	718	1.669
2000	1.086	528	1.614
2001	1.044	414	1.458
2002	1.035	562	1.596
2003	1.025	753	1.778
2004	1.015	860	1.875
2005	997	629	1.626
2006	571	546	1.117
2007	630	573	1.203
2008	814	712	1.526
2009	884	788	1.672
2010	1.609	1.242	2.851
2011	1.835	1.251	3.086
2012	1.625	821	2.447

Figura 8 - Emissões relativas a outros usos do calcário e dolomita na siderurgia, fora o uso para produção cativa de cal, para o período de 1990 a 2012



2.3.1.2 *Produção de Vidro*

Na indústria de vidro, o calcário e a dolomita são utilizados nos fornos de produção. Segundo Sampaio (2008), essas substâncias ocupam o terceiro lugar como insumo básico na fabricação do vidro, depois da areia de quartzo e da barrilha. A cal produzida no processo atua como material fundente sobre a areia de quartzo.

⇒ **Dados**

Os dados da produção de vidro foram obtidos no Anuário Estatístico - Setor de Transformação de Não-Metálicos (MME, 2006, 2007, 2009, 2013).

Os dados de produção são apresentados segundo quatro tipos:

- ⇒ Embalagens de vidro, utilizadas no setor de bebidas, em frascos e garrafas, principalmente para cervejas; no setor de alimentos e, por último, na embalagem de produtos não alimentícios (farmacêuticos e cosméticos).
- ⇒ Vidros especiais (técnicos), compreendendo as lãs e fibras de vidro (para isolamento e indústria têxtil), os tijolos e blocos de vidro, os isoladores elétricos de vidro, as ampolas para garrafas térmicas, os bulbos de lâmpadas e as ampolas farmacêuticas para medicamentos.
- ⇒ Vidros planos, fabricados em chapas, utilizados, principalmente, pela construção civil, seguida pela indústria automobilística, moveleira, e decorações de interiores, principalmente espelhos.
- ⇒ Vidros domésticos, aqueles usados em utensílios como louças de mesa, copos, xícaras, e objetos de decoração como vasos.

Como as séries de dados se interpõem nessas três publicações, foram admitidos sempre os números mais atuais, considerados revistos.

Assim, considerou-se para os dados anuais de produção:

- ⇒ 1997-2001: Anuário 2006;
- ⇒ 2002-2003: Anuário 2007;
- ⇒ 2004-2007: Anuário 2009,
- ⇒ 2008-2011: Anuário 2013,

Nesse cálculo, a produção de 2002 a 2008 é estimada como 95% da capacidade instalada para as embalagens e como 70% para os demais tipos. No anuário de 2013 ainda não se apresentam as produções de vidro de 2012.

Para os anos de 1991 a 1996, utilizaram-se os dados de evolução do setor, segundo o sistema IBGE-Sidra (conforme Anexo 5); para 1990, na falta de outra informação, foi repetido o ano de 1991. A consolidação dos dados pode ser observada na Tabela 16 e a série histórica completa (1990-2011) no Anexo 3.

Tabela 16 - Produção da indústria do vidro

Produto	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	Produção (mil t)					%
Embalagens de vidro	942	954	911	969	982	1,3
Produtos de vidro, fora embalagens:	456	597	1.156	1.654	1629	-1,5
Vidros técnicos	*	*	187	249	138	-44,6
Vidros planos	*	*	790	1240	1309	5,6
Vidros domésticos	*	*	179	165	182	10,3
Produção nacional	1.398	1.551	2.067	2.623	2.611	-0,5

* Nestes anos, não há detalhamento

Fonte: MME - SMM

Como a produção de vidro apresentada inclui parte de vidro reciclado, esta precisa ser deduzida do total para se chegar à quantidade de vidro virgem, responsável pelas emissões de CO₂ pela calcinação do calcário e da dolomita. Os Anuários apresentam os percentuais de reciclagem de embalagens para todos os anos, desde 1991, e números precisos para as quantidades recicladas dessas embalagens em 2005 e em 2006: 457.000 t e 448.000 t, respectivamente. Para a estimativa do setor nesses dois anos como um todo, desconhecendo-se a reciclagem para todos os tipos e reconhecendo que a reciclagem das embalagens é a maior parte, foi tomada a quantidade reciclada das embalagens e dividida pela produção total; esse número foi aumentado em cerca de 6%, como estimativa para o setor. Seguindo o mesmo raciocínio, calculou-se o percentual de reciclagem para todos os demais anos.

Segundo os Anuários, dentre os componentes do vidro virgem, o calcário entra na proporção de 10% e a dolomita 2%, em média.

⇒ *Cálculo*

A partir das informações colhidas e apresentadas acima, foram calculados os índices de reciclagem de vidro no Brasil (Tabela 17 - série completa no Anexo 4), bem como a quantidade de calcário e de dolomita calcinados na fabricação de vidro virgem e, em seguida (Tabela 18), as emissões correspondentes.

Tabela 17 - Índices de reciclagem de vidro no Brasil

Produto	1990	1995	2000	2005	2010
Reciclagem de embalagens	15,0%	35,0%	41,0%	45,0%	47,0%
Reciclagem total de vidros	10,7%	22,8%	19,2%	17,6%	18,7%

Fonte: MME - SMM

Tabela 18 - Utilização de calcário e dolomita na fabricação do vidro

Produto	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	mil t					%
Produção total de vidro	1.398	1.551	2.067	2.623	2.611	-0,5
Produção de vidro virgem	1.248	1.197	1.671	2.161	2.122	-1,8
Calcário utilizado	125	120	167	216	212	-1,8
Dolomita utilizada	25	24	33	43	42	-1,8

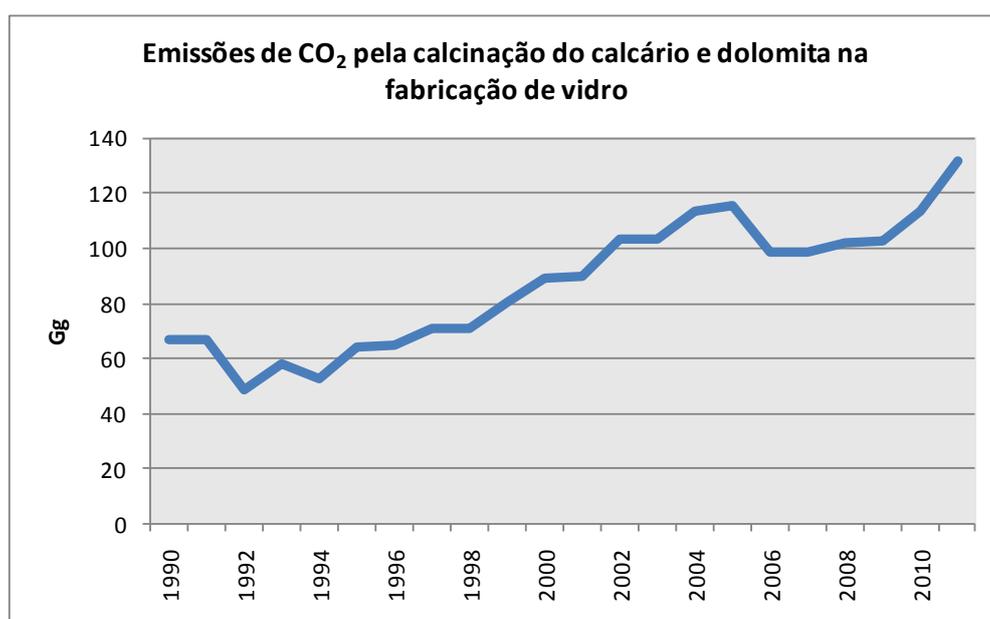
Tabela 19 - Emissões relativas ao uso de calcário e dolomita na produção de vidro

Emissões de CO ₂ por calcinação, na produção de vidro	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	Gg					%
do calcário	55	53	74	95	93	-1,8
da dolomita	12	11	16	21	20	-1,8
Total	67	64	89	116	114	-1,8

A Tabela 20 apresenta essas mesmas emissões, para os anos de 1990 a 2011, sendo que a mostra a Figura 9 evolução dessas emissões.

Tabela 20 - Emissões de CO₂ na produção de vidro, de 1990 a 2011

Ano	Emissões de CO ₂ na produção de vidro		
	Calcinação do calcário	Calcinação da dolomita	Total
	Gg CO ₂		
1990	55	12	67
1991	55	12	67
1992	40	9	49
1993	48	10	58
1994	44	9	53
1995	53	11	64
1996	53	12	65
1997	58	13	71
1998	58	13	71
1999	66	14	81
2000	74	16	89
2001	74	16	90
2002	85	18	103
2003	85	18	103
2004	93	20	113
2005	95	21	116
2006	81	18	99
2007	81	18	99
2008	84	18	102
2009	84	18	103
2010	93	20	114
2011	108	23	132

Figura 9 - Emissões de CO₂ na produção de vidro, de 1990 a 2011

2.3.1.3 Produção de Magnésio

O magnésio é produzido a partir de carbonatos (dolomita ou magnesita) através de um processo sílico-térmico, semelhante à calcinação. Nesse processo, em que são obtidos os cristais de magnésio, posteriormente submetidos a processos de lingotamento e injeção, ocorre a emissão de CO₂. No caso brasileiro a matéria prima empregada é exclusivamente a dolomita.

⇒ Dados

O valor de produção de magnésio (lingote/metal líquido) foi fornecido pela Rima Industrial, única produtora de magnésio no Brasil. Para os anos de 2010 e 2011 os dados foram adquiridos nos relatórios do projeto MDL “*Conversion of SF₆ to the alternative cover gas SO₂ at RIMA magnesium production*” diretamente no site da UNFCCC. Os dados são apresentados na tabela abaixo e a série histórica (1990-2011), no Anexo 6 deste documento.

Tabela 21 - Produção nacional de magnésio

Produto	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	Produção (t)					%
Magnésio - lingote/metal líquido	5.731	10.043	10.256	14.337	18.545	29,4

Fonte: UNFCCC

⇒ Cálculo

A relação estequiométrica para produção de magnésio a partir da dolomita indica um fator de emissão de 3,62 kg de CO₂ por quilo de magnésio produzido. O IPCC 2006 apresenta um fator de emissão *default* de 5,13 kg de CO₂ por quilo de magnésio produzido, que acrescenta ao fator teórico um adicional para considerar as perdas no processo. Na ausência de informação específica para a planta no Brasil, utilizou-se esse fator *default* na presente estimativa. A Tabela 22 apresenta as emissões de CO₂ na produção de magnésio.

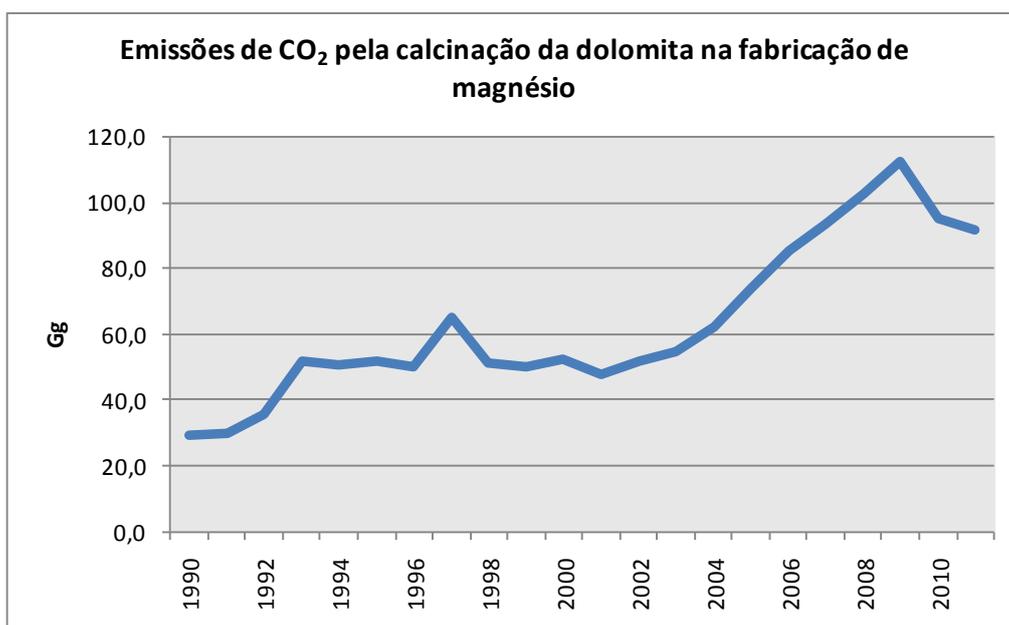
Tabela 22 - Emissões de CO₂ na produção de magnésio, pela calcinação da dolomita

Emissões de CO ₂ na produção de magnésio	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	Gg CO ₂					%
Calcinação de dolomita	29,4	51,5	52,6	73,5	95,1	29,4

A Tabela 23 apresenta essas mesmas emissões, para os anos de 1990 a 2011, sendo que a Figura 10 mostra a evolução dessas emissões.

Tabela 23 - Emissões da calcinação da dolomita na produção de magnésio, de 1990 a 2011

Ano	Emissões da calcinação da dolomita
	Gg CO ₂
1990	29,4
1991	29,8
1992	35,6
1993	51,5
1994	50,4
1995	51,5
1996	49,8
1997	65,1
1998	51,4
1999	50,0
2000	52,6
2001	47,7
2002	51,8
2003	54,9
2004	62,1
2005	73,5
2006	85,4
2007	93,3
2008	102,8
2009	112,4
2010	95,1
2011	91,6

Figura 10 - Emissões de CO₂ pela calcinação da dolomita na produção de magnésio

2.3.2 Resultados Agregados de Outros Usos de Calcário e Dolomita por Calcinação

A Tabela 24 a seguir resume as emissões de outros usos de calcário e dolomita, por calcinação:

Tabela 24 - Emissões de outros usos de calcário e dolomita, por calcinação

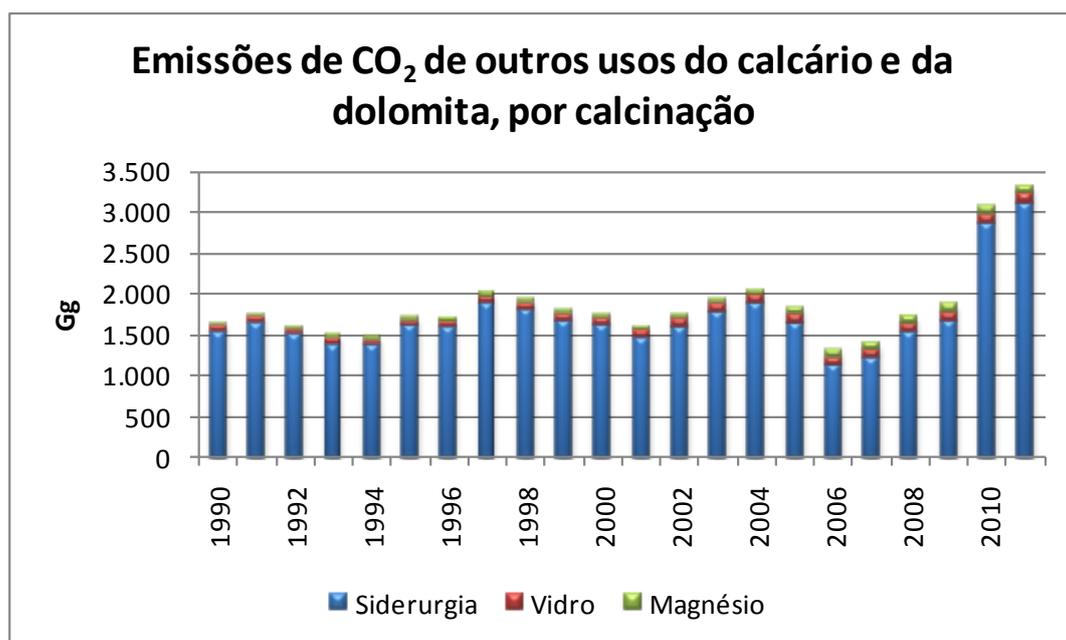
Emissões de CO ₂ de outros usos do calcário e da dolomita com calcinação	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	Gg					%
do calcário	1.099	935	1.160	1.092	977	-10,5
da dolomita	531	793	596	723	904	25,0
Total	1.630	1.728	1.756	1.815	1.881	3,6

A Tabela 25 mostra as emissões de CO₂ de outros usos do calcário e da dolomita, de 1990 a 2011 e a Figura 11, sua evolução ao longo dos anos.

Tabela 25 - Emissões de outros usos do calcário e da dolomita, de 1990 a 2011

Ano	Emissões de CO ₂ de outros usos do calcário e da dolomita, por calcinação			
	Metalurgia	Vidro	Magnésio	Total
	Gg CO ₂			
1990	1.534	67	29	1.630
1991	1.649	67	30	1.746
1992	1.505	49	36	1.589
1993	1.381	58	52	1.491
1994	1.376	53	50	1.480
1995	1.613	64	52	1.728
1996	1.586	65	50	1.701
1997	1.879	71	65	2.015
1998	1.809	71	51	1.932
1999	1.669	81	50	1.800
2000	1.614	89	53	1.756
2001	1.458	90	48	1.595
2002	1.596	103	52	1.751
2003	1.778	103	55	1.936
2004	1.875	113	62	2.050
2005	1.626	116	74	1.815
2006	1.117	99	85	1.301
2007	1.203	99	93	1.395
2008	1.526	102	103	1.731
2009	1.672	103	112	1.887
2010	2.851	114	95	3.060
2011	3.086	132	92	3.309

Figura 11 - Emissões relativas aos outros usos de calcário e da dolomita com calcinação no Brasil, de 1990-2011



3 Produção e uso de carbonato neutro de sódio (barrilha)

A barrilha (carbonato neutro de sódio, Na_2CO_3) é usada como material de consumo em um grande número de indústrias, incluindo a manufatura de vidro, sabões e detergentes, produção de papel e de polpa de celulose e tratamento de água. O dióxido de carbono é emitido a partir do uso da barrilha e pode ser emitido durante sua produção, dependendo do processo industrial usado para fabricá-la. Quatro diferentes processos podem ser usados comercialmente para produzir barrilha. Três deles são referidos como processos naturais e usam trona como material de consumo básico. O quarto, o processo Solvay, é classificado como processo sintético.

Os processos naturais são os únicos que, sabidamente, produzem emissões de CO_2 durante a fabricação de barrilha. A produção brasileira, descontinuada a partir de 2002, usava o processo sintético e, portanto, nenhuma emissão líquida foi produzida.

3.1 Metodologia

Quando a barrilha é consumida, há a emissão de CO_2 . Assume-se que um mol de carbono seja liberado a cada mol de barrilha consumido. Dessa forma, para identificar o fator de emissão (FE) da barrilha é considerada a relação a seguir:

$$\begin{aligned} \text{FE} &= 44,01 \text{ g/mol CO}_2 / 105,99 \text{ g/mol Na}_2\text{CO}_3 \\ &= 0,415 \text{ t CO}_2 / \text{ t Na}_2\text{CO}_3 \end{aligned}$$

3.2 Dados

Para se conhecer o consumo de barrilha é necessário saber a produção, importação e exportação do produto (Tabela 26). Os Anuários de ABIQUIM (1995,1997, 2000, 2005, 2008,2012) foram utilizados como fonte de informação, com estatísticas até 2011. No Anexo 7 é possível observar toda a série histórica (1990-2011) de produção, importação e consumo de barrilha no país.

Tabela 26 - Consumo de barrilha

Produto	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	t					%
Produção	195.893	203.950	190.616	0	0	NA
Importação	242.788	392.071	393.845	597.888	954.675	59,7
Exportação	0	2	4	2	47	2230,0
Consumo	438.681	596.019	584.457	597.886	954.629	59,7

Fonte: ABIQUIM

3.3 Resultados.

Tabela 27 - Emissões de CO₂ pelo consumo de barrilha

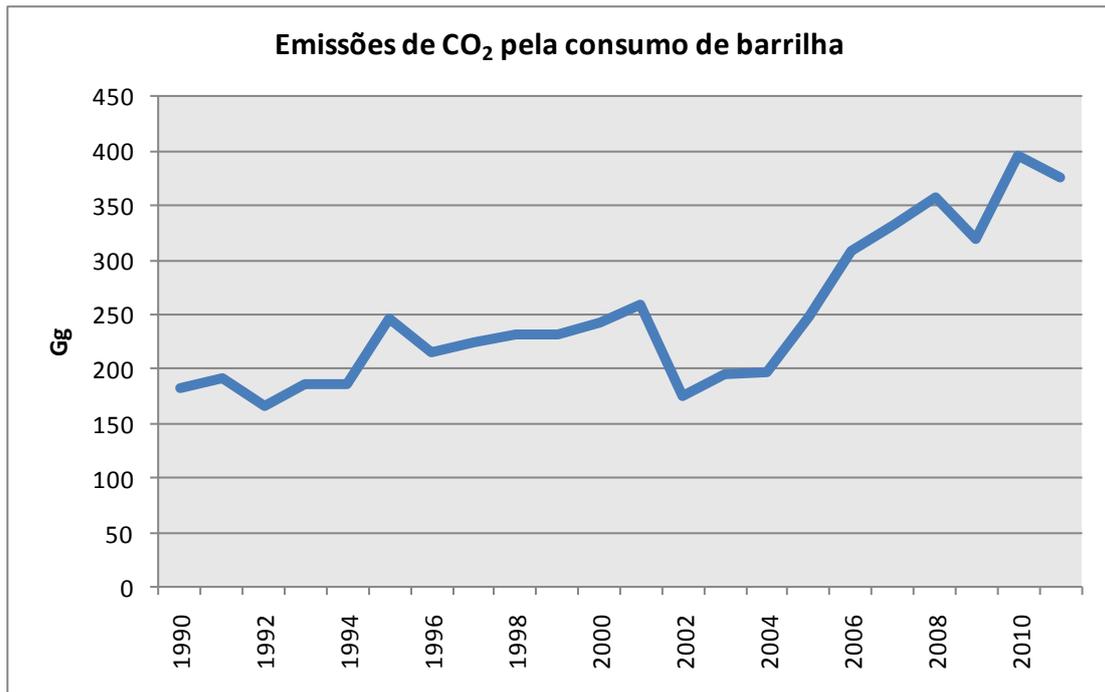
Uso da barrilha	1990	1995	2000	2005	2010	Var. 2005/2010
	Gg					%
Emissões de CO ₂	182	247	243	248	396	59,7

A Tabela 28 mostra as emissões de CO₂ pelo consumo de barrilha, de 1990 a 2011 e a Figura 12, sua evolução ao longo dos anos.

Tabela 28 - Emissões de CO₂ pelo consumo de barrilha, de 1990 a 2011

Ano	Emissões de CO ₂ pelo uso da barrilha
	Gg
1990	182
1991	191
1992	166
1993	187
1994	187
1995	247
1996	215
1997	224
1998	233
1999	233
2000	243
2001	259
2002	176
2003	196
2004	196
2005	248
2006	308
2007	333
2008	357
2009	320
2010	396
2011	375

Figura 12 - Emissões de CO₂ pelo consumo da barrilha



4 Diferenças em relação ao Segundo Inventário

Não houve alterações metodológicas nos setores apresentados.

5 Referências Bibliográficas

ABIQUIM, *Anuário da Indústria Química Brasileira* - ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados), 1995.

_____, *Anuário da Indústria Química Brasileira* - ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados), 1997.

_____, *Anuário da Indústria Química Brasileira* - ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados), 2000.

_____, *Anuário da Indústria Química Brasileira* - ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados), 2005.

_____, *Anuário da Indústria Química Brasileira* - ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados), 2008.

_____, *Anuário da Indústria Química Brasileira* - ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados), 2012.

IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia. Anuário Estatístico - 1998, ano base 1997. IBS, Rio de Janeiro, Maio/1998.

MME - Ministério das Minas e Energia - Secretaria de Minas e Metalurgia, Anuário Estatístico - Setor Metalúrgico. Brasília, 2003, ano base 2002. Site do MME, endereço <http://www.mme.gov.br/sgm/menu/publicacoes.html>, acessado em março/2010

_____, Anuário Estatístico - Setor Metalúrgico. Brasília, 2006 - ano base 2005. Site do MME, endereço <http://www.mme.gov.br/sgm/menu/publicacoes.html>, acessado em março/2010

_____, Anuário Estatístico - Setor de Transformação de Não-Metálicos. Brasília 2006 - ano base 2005. Site do MME, endereço <http://www.mme.gov.br/sgm/menu/publicacoes.html>, acessado em março/2010.

_____, Anuário Estatístico - Setor de Transformação de Não-Metálicos. Brasília 2007 - ano base 2006. Site do MME, endereço <http://www.mme.gov.br/sgm/menu/publicacoes.html>, acessado em março/2010.

_____, Anuário Estatístico - Setor Metalúrgico. Brasília, 2008 - ano base 2007. Site do MME, endereço <http://www.mme.gov.br/sgm/menu/publicacoes.html>, acessado em março/2010.

_____, Anuário Estatístico - Setor de Transformação de Não-Metálicos. Brasília 2009 - ano base 2008. Site do MME, endereço <http://www.mme.gov.br/sgm/menu/publicacoes.html>, acessado em março/2010.

_____, Anuário Estatístico - Setor Metalúrgico. Brasília, 2013 - ano base 2012. Site do MME, endereço <http://www.mme.gov.br/sgm/menu/publicacoes.html>, acessado em agosto/2014.

_____, Anuário Estatístico - Setor de Transformação de Não-Metálicos. Brasília 2013 - ano base 2012. Site do MME, endereço <http://www.mme.gov.br/sgm/menu/publicacoes.html>, acessado em agosto/2014.

Sampaio, João Alves e Almeida, S. L. M. Capítulo 16 - Calcário e Dolomito, *in Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações*. Editores: Adão Benvindo da Luz, Fernando Antonio Freitas Lins. - CETEM/2008, 2ª Edição.

SNIC, Relatório Anual 2012, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2012. Disponível em http://www.snic.org.br/pdf/relatorio_anual_2012-13_web.pdf, acessado em outubro/2014.

Anexos

Anexo 1 - Dados anuais de produção de cal no Brasil

Segundo a ABPC, os dados a seguir foram baseados em estimativas e dados estatísticos da associação:

Produtos	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	Quantidades (mil t)																						
Cal Virgem - produção informada																							
Produtores Associados - CV (1)	1.335	1.359	1.351	1.327	1.498	1.444	1.465	1.527	1.418	1.354	1.595	1.592	1.696	1.783	2.145	2.189	2.420	2.474	2.536	2.167	4.677	5.243	5.346
Não-associados - CV (3)	646	658	689	790	599	546	546	560	512	935	1.491	1.421	1.380	1.388	1.366	1.521	1.162	1.246	1.238	920			
Produção Cativa - CV (2)	1048	1008	1236	1375	1378	1427	1466	1549	1523	1470	1546	1392	1558	1589	1589	1392	1570	1670	1635	1490	995	963	962
Total de Cal Virgem	3.029	3.025	3.276	3.492	3.475	3.417	3.477	3.636	3.453	3.759	4.632	4.405	4.634	4.760	5.100	5.102	5.152	5.390	5.409	4.577	5.672	6.206	6.308
Cal Hidratada - produção informada																							
Produtores Associados - CH (1)	978	1.067	1.013	1.052	1.122	1.273	1.416	1.343	1.306	1.225	1.244	1.221	1.240	1.270	1.278	1.165	1.157	1.228	1.201	1.203	2.089	2.029	2.005
Não-associados - CH (3)	893	908	951	1.090	828	754	754	771	734	765	682	682	607	587	830	720	748	775	815	865			
Produção Cativa - CV (2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de Cal Hidratada	1.871	1.975	1.964	2.142	1.950	2.027	2.170	2.114	2.040	1.990	1.926	1.903	1.847	1.857	2.108	1.885	1.905	2.003	2.016	2.068	2.089	2.029	2.005
Total Geral	4.900	5.000	5.240	5.634	5.425	5.444	5.647	5.750	5.493	5.749	6.558	6.308	6.481	6.617	7.208	6.987	7.057	7.393	7.425	6.645	7.761	8.235	8.313

¹ Produção informada à ABPC pelas empresas associadas, até 2009; a partir de 2010, incluído no mercado aberto

² Produção própria informada à ABPC por CSN, Cosipa, Açominas, Usiminas, CST, White Martins e Cia. Nacional de Álcalis, até 2009

³ Valores estimados. A partir de 2010, o valor está incluído no mercado aberto.

NOTAS: A - As produções de não-associados indicadas de 1990 a 1994 baseiam-se nos dados de produção geral publicados pelo DNPM

B - As produções de não-associados indicadas a partir de 1995 baseiam-se em dados estimados pela própria ABPC

C - Até 1996, as estimativas de produção de não-associados referiam-se apenas a dados gerais, e não separavam Cal Virgem da Cal Hidratada. Para efeito deste inventário, a divisão entre os dois tipos tomou a média da participação da cal virgem dos não associados em 1997 e 1998, igual a 24%; o valor de 1999 foi estimado como a média da participação de 1998 e 2000, igual a 55%.

Anexo 2 - Utilização de calcário e dolomita na siderurgia no Brasil, de 1990 a 2012

Produto	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	Utilização (mil t)																						
Calcário	4.243	4.516	4.608	4.499	4.293	4.552	4.881	5.441	5.134	4.784	5.228	4.858	5.132	5.166	5.143	4.750	4.099	4.412	4.768	4.668	5.433	5.889	5.411
Dolomita	1.027	951	939	1.008	1.194	1.531	1.237	1.470	1.565	1.506	1.106	867	1.178	1.579	1.802	1.319	1.145	1.202	1.493	1.653	2.603	2.622	1.722

Fonte: IBS - Anuário Estatístico - 1998

MME - SMM. Anuário Estatístico - Setor Metalúrgico 2003/2006/2008/2013

Anexo 3 - Dados anuais da produção de vidro do Brasil, de 1997 a 2011

Produto	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
	Produção (mil t)														
Embalagens de vidro	890	833	869	911	883	1039	970	958	969	973	1042	904	913	982	1090
Produtos de vidro, fora embalagens:	798	840	1006	1156	1188	1373	1419	1613	1654	1345	1321	1447	1462	1629	1910
Vidros técnicos	130	125	130	187	178	198	199	223	249	244	146	127	128	138	165
Vidros planos	500	555	715	790	833	998	998	1178	1240	930	992	1152	1164	1309	1516
Vidros domésticos	168	160	161	179	177	177	222	212	165	171	183	168	170	182	229
Produção nacional	1.688	1.673	1.875	2.067	2.071	2.412	2.389	2.571	2.623	2.318	2.363	2.351	2.375	2.611	3.000

Fonte: MME - SMM. Anuário Estatístico - Setor de Transformação de Não-Metálicos 2006/2007/2009/2013

Anexo 4 - Reciclagem de embalagens de vidro do Brasil, de 1991 a 2011

Produto	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Reciclagem de embalagens	15%	18%	25%	33%	35%	37%	39%	40%	40%	41%	42%	44%	45%	45%	45%	46%	47%	47%	47%	47%	47%

Fonte: MME - SMM. Anuário Estatístico - Setor de Transformação de Não-Metálicos 2006/2007/2009/2013

Anexo 5 - Variação anual da produção de vidro do Brasil, de 1992 a 1997

Produto	1992	1993	1994	1995	1996	1997
	Variação em relação ao ano anterior (%)					
Embalagens de vidro	67,22	123,95	92,09	131,94	92,92	100,40
Vidro e produtos de vidro, exclusive	86,80	129,93	101,34	114,58	113,35	118,02

Fonte: IBGE-Sidra

Anexo 6 - Produção de magnésio no Brasil, de 1990 a 2011

Magnésio	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
	Quantidades (t)																					
Lingote / Metal líquido	5.731	5.805	6.945	10.046	9.833	10.043	9.706	12.692	10.025	9.753	10.256	9.291	10.092	10.693	12.105	14.337	16.648	18.181	20.043	21.904	18.545	17.848

Fontes: Rima Industrial S.A.

Site da UNFCCC/CDM

Anexo 7 - Produção, importação, exportação de barrilha no Brasil, de 1990 a 2007

Barrilha	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
	Quantidades (t)																					
Produção	195.893	207.607	220.596	231.390	219.471	203.950	211.043	206.273	201.866	208.834	190.616	194.837	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Importação	242.788	253.610	179.785	218.954	231.827	392.071	306.932	334.398	358.459	352.073	393.845	430.797	424.780	471.938	473.063	597.888	742.140	804.105	861.195	770.854	954.675	904.506
Exportação	0	0	0	10	255	2	9	3	4	4	4	400	609	558	1	2	2	2.192	20	560	47	602

Fonte: ABIQUIM Anuário 1995/1997/2000/2005/2008/2012