

André Barbosa de Lima

O PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO PORTLAND

Belo Horizonte

2011

André Barbosa de Lima

O PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO PORTLAND

Monografia apresentada ao Curso de
Especialização em Engenharia de Recursos
Minerais da Universidade Federal de Minas
Gerais

Orientador: Prof. Arthur Pinto Chaves

Belo Horizonte

2011

“Dedico este trabalho a todos que
acreditam em meu potencial.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por me dar forças para superar a saudade da minha família e os momentos mais difíceis. Aos meus pais Aldair e Maria que sempre me apóiam me dando educação e aprendizagem necessária para uma vida de conquistas e vitórias.

A todos da UFMG que me acolheram e em especial o Prof. George Valadão. A todos que não foram citados e contribuíram de uma forma direta e indireta na realização da minha monografia.

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade apresentar o processo produtivo do cimento portland, descrevendo suas etapas. O cimento é fabricado com 75-80% de calcário e 20-25% de argila. Quando extraídos da mina, o calcário e a argila são encaminhados para a etapa de pré-homogeneização. O argical (mistura de calcário/argila) é empilhado no stock pile da pré-homogeneização.

Após a pré-homogeneização, a qual homogeneiza o material, segue para o britador secundário. Aquele material que ficou acima de 0,050 mm (50 μ m) segue para o moinho (pode ser de bolas ou vertical). Depois o material se torna uma farinha fina (farinha de cru) e segue para o silo para ser armazenado. Quando a farinha entra na primeira etapa da torre do ciclone, a temperatura que é de 45°C a 70°C aumenta para 440°C, na segunda etapa da torre de ciclone, atinge de 650°C. Quando a farinha entra na terceira etapa a temperatura está a 770°C. Com 900°C na quarta etapa, o material está no ponto ideal para ser clinquerizado. A farinha aquecida entra no forno para ser cozida por uma chama que pode chegar a uma temperatura de 2000°C. O produto final, clinquer, sai do forno com uma temperatura em torno de 1450°C e é resfriado com recuperação do calor, é armazenado em um galpão, seguindo para a moagem. Quando o material está sendo moído adicionam-se escória, gesso e material pozolânico a fim de fabricar os diferentes tipos de cimento portland.

PALAVRA-CHAVE

Cimento portland.

ABSTRACT

This monography intends to describe the production process of portland cement, step by step. Portland cement is manufactured from 75-80% limestone and 20-25% clay. After mining and primary crushing, limestone and clay are sent to the pre-homogenization step. The mixture of them is called argical and is stockpiled and homogenized in a long pile.

After homogenized, argical is sent to the secondary crusher. The crushed product is screened in a 0,050 mm (50 μ m) sieve. The oversize is sent to a mill, which can be a ball mill or a vertical mill. The mill product is named flour fine (unbleached flour) and is stocked in a bin. This flour is fed to the first step of a battery of heat recovery cyclones. The temperature rises from 45 to 70°C to 440°C, then to 650°C. In the third step it raises to 770°C.

In the fourth step it is at 900°C and is fed to the calcining kiln. In this rotary kiln the flame temperature is of about 2000°C. The final product is the clinker, cement ball, at about 1450°C. It is cooled for heat recovery and stored in bays before grinding. At the mill slag, pozzolana (and gypsum) are added according to the desired cement formula.

KEYWORD

Portland cement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Matérias primas.....	14
Figura 3.2: Stacker e pilha da pré-homogeneização.....	15
Figura 3.3: Stacker realizando a homogeneização da pilha de argical.....	16
Figura 3.4: Martelo do Britador Primário.....	17
Figura 3.5: Moinho de bolas da moagem de cru	18
Figura 3.6: Silo e Balança Dosadora	18
Figura 3.7: Torre de ciclone	19
Figura 3.8: Torre de ciclone com 5 estágios.....	20
Figura 3.9: Torre de ciclone com 5 estágios cada	20
Figura 3.10: Forno	21
Figura 3.11: Mancais do forno	22
Figura 3.12: Maçarico.....	23
Figura 3.13: Componentes Principais do Clínquer.....	24
Figura 3.14: Clínquer para análise do laboratório	25
Figura 3.15: Foto do Clínquer	25
Figura 3.16: Resfriador de Clínquer	26
Figura 3.17: Resfriador de Clínquer	27
Figura 3.18: Moinho de Bolas com 2 Câmaras	30
Figura 3.19: Participação por Grupo Industrial.....	31
Figura 3.20: Moinho Vertical de Cimento	31
Figura 3.21: Fábricas de Cimento no Brasil.....	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVO E RELEVÂNCIA	12
3. DESENVOLVIMENTO.....	13
3.1 Matérias-Primas Utilizadas no Processo	13
3.1.1 Calcário.....	13
3.1.2 Argila.....	13
3.1.3 Minério de Ferro e Areia	13
3.1.4 Gesso.....	13
3.1.5 Escória de Alto Forno.....	14
3.2 Pré-homogeneização.....	15
3.2.1 Armazenagem em Pilhas	15
3.2.2 Stacker	16
3.3 Moagem de Cru	17
3.4 Torre de Ciclone	19
3.5 Clinquerização	21
3.5.1 Forno de clínquer.....	21
3.5.2 Fabricação de clínquer.....	23
3.5.3 Sínteses dos componentes	24
3.5.4 Resfriador de Clínquer	26
3.6 Moagem de Cimento	27
3.6.1 Matérias – primas principais para compor o cimento.....	27
3.6.2 Aditivos propriamente utilizados na moagem de cimento	28
3.6.3 Dosagem de Aditivos	28
3.7 O Cimento Como Produto Final.....	30
4. CONCLUSÕES	33
5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
7. ANEXOS.....	36

1. INTRODUÇÃO

A procura por segurança e durabilidade para as edificações conduziu o homem à experimentação de diversos materiais aglomerantes. Os romanos chamavam esses materiais de "caementum", termo que originou a palavra cimento.

O engenheiro John Smeaton, por volta de 1756, procurava um aglomerante que endurecesse mesmo em presença de água, de modo a facilitar o trabalho de reconstrução do farol de Edystone, na Inglaterra. Em suas tentativas, verificou que uma mistura calcinada de calcário e argila tornava-se, depois de seca, tão resistente quanto as pedras utilizadas nas construções.

Coube, entretanto, a um pedreiro, Joseph Aspdin, em 1824, patentear a descoberta, batizando-a de cimento Portland, numa referência à Portlandstone, tipo de pedra arenosa muito usada em construções na região de Portland, Inglaterra. No pedido de patente constava que o calcário era moído com argila, em meio úmido, até se transformar-se em pó impalpável. A água era evaporada pela exposição ao sol ou por irradiação de calor através de cano com vapor. Os blocos da mistura seca eram calcinados em fornos e depois moídos bem finos. Poucos anos antes, na França, o engenheiro e pesquisador Louis Vicat publicou o resultado de suas experiências contendo a teoria básica para produção e emprego de um novo tipo de aglomerante: o cimento artificial.

Aquele produto, no entanto, exceto pelos princípios básicos, estava longe do cimento Portland que atualmente se conhece, resultante de pesquisas que determinam as proporções adequadas da mistura, o teor de seus componentes, o tratamento térmico requerido e a natureza química dos materiais. O cimento Portland desencadeou uma verdadeira revolução na construção, pelo conjunto inédito de suas propriedades de moldabilidade, hidráulica (endurecer tanto na presença do ar como da água), elevadas resistências aos esforços e por ser obtido a partir de matérias-primas relativamente abundantes e disponíveis na natureza.

A criatividade de arquitetos e projetistas, a precisão dos modernos métodos de cálculo e o genialidade dos construtores impulsionaram o avanço das tecnologias de cimento e de concreto, possibilitando ao homem transformar o meio em que vive, conforme suas necessidades. A importância deste material cresceu em escala geométrica, a partir do concreto

simples, passando ao concreto armado e finalmente, ao concreto protendido. A descoberta de novos aditivos, como a sílica ativa, possibilitou a obtenção de concreto de alto desempenho (CAD), com resistência à compressão até 10 vezes superiores às até então admitidas nos cálculos das estruturas.

Obras cada vez mais arrojadas e indispensáveis, que propiciam conforto, bem-estar - barragens, pontes, viadutos, edifícios, estações de tratamento de água, rodovias, portos e aeroportos - e o contínuo surgimento de novos produtos e aplicações fazem do cimento um dos produtos mais consumidos da atualidade, conferindo uma dimensão estratégica à sua produção e comercialização. (BASILIO, 1983)

2. OBJETIVO E RELEVÂNCIA

Este trabalho tem como objetivo descrever o processo produtivo do cimento portland desde a moagem de cru até a moagem e adições, o processo de transformação que o argical (mistura do calcário e argila) sofre com o decorrer das etapas da produção. Passando de farinha de cru, até o material se transformar em clínquer.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Matérias-Primas Utilizadas no Processo

3.1.1 Calcário

O calcário é constituído basicamente de carbonato de cálcio (CaCO_3), mas se apresenta na natureza acompanhado de diversas impurezas como óxidos de ferro, alumínio e silício, que são benéficos, e outros como o óxido de magnésio, sódio e potássio que são na maioria das vezes indesejáveis.

A cal, que é a parte que realmente interessa na fabricação do cimento, encerra apenas 56% do total da matéria bruta, o que nos diz que de cada tonelada de calcário só se aproveitam 560 kg.

3.1.2 Argila

A argila usada na fabricação do cimento é essencialmente composta de silicatos de alumínio hidratados, óxidos de ferro, alumínio e silício, essenciais para fabricação do cimento.

3.1.3 Minério de Ferro e Areia

São aditivos usados para suprir as deficiências da argila frente a alguns de seus componentes que se mostram insuficientes ao processo.

3.1.4 Gesso

O gesso apresenta-se na natureza em grandes jazidas sedimentares chamadas de evaporitos sob a forma de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemi-hidratado ou bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4).

A gipsita é a forma mais usada na indústria cimenteira. O gesso é usado no cimento para regular o tempo de pega, ou seja, mantê-lo trabalhável por mais tempo e isto funciona na medida em que este forma uma espécie de película ou membrana que envolve as partículas do cimento, retardando seu endurecimento. É um produto de adição final do processo. O gesso está presente em todos os tipos de cimentos portland: CPI; CPI-S; CII-E; CII-Z; CII-F; CP III; CP IV e CP V-ARI.

3.1.5 Escória de Alto Forno

Pode ser adicionada ou não, dependendo-se do tipo de cimento que se quer obter. Há cimentos com até 65% de escória, ou seja, cimento de alto forno. A escória de alto forno possui propriedades aglomerantes, só que estas propriedades não são ativadas pela água e sim pelo hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 proveniente da hidrólise do CaO , ajudando assim na resistência final do cimento. A escória de alto forno está na composição dos cimentos CPI-S, CII-E e CP-III. As matérias primas do cimento são mostradas na figura 3.1.



Calcário



Minério Ferro



Argila



Gesso

Figura 3.1: Matérias primas (ECL,2011)

3.2 Pré-homogeneização

3.2.1 Armazenagem em Pilhas

A armazenagem em pilhas "stock pile" do material britado, foi introduzida a partir do aumento de capacidade de fábricas, com a finalidade de manter um suprimento uniforme ao processo de moagem.

A pré – homogeneização é utilizada para minimizar os efeitos das variações na composição química da matéria – prima. O material é empilhado em camadas, possibilitando uma mistura na extração para alimentação do moinho. Estas variações ocorrem naturalmente, pois a mina não é homogênea como um todo. O stacker trabalha na parte superior do galpão para homogeneização do material.



Figura 3.2: Stacker e pilha da pré-homogeneização (ECL, 2009)

3.2.2 Stacker

Através do transportador de correia, o calcário e a argila passam por uma casa de transferência e passa a ser função da lança do stacker fazer o monte e realizar a pré homogeneização da argila com o calcário. Terminado o empilhamento, o material está pronto para ser alimentado aos silos de dosagem de material ao moinho.

Além de calcário e argila, aditivos como minério de ferro e areia também são alimentados a um silo de dosagem. Em geral este material é carregado em caminhões através de pás carregadeiras e basculado em uma tremonha que recebe o material em transportadores de correia que o alimentam ao silo. O silo de dosagem tem por função garantir um estoque pulmão aos moinhos e também propiciar uma alimentação constante.

Enquanto o stacker trabalha em uma pilha realizando o trabalho de homogeneização, a outra pilha está sendo trabalhada com um retomador para colocar o material no transportador de correia enviando o argical para a moagem de cru.



Figura 3.3: Stacker realizando a homogeneização da pilha de argical. (ECL, 2009)

3.3 Moagem de Cru

A preparação dos componentes da mistura crua (farinha) ocorre através da moagem da matéria-prima, em moinhos de bolas e moinhos verticais, para que a granulometria do material fique por volta de 0,050 mm (50 μ m). Antes de o material entrar no moinho de cru, existe um britador secundário com 96 martelos triturando o argilal, esse triturador é responsável por reduzir ao extremo o argilal. A granulometria máxima do britador de martelos é de 150 mm.



Figura 3.4: Martelo do Britador Primário (ECL, 2009)

Depois da farinha britada e fina realizada em um processo a seco, a mesma segue para um ciclone pneumático antes de ir para o filtro eletrostático ou filtro de mangas, o material grosso fica retido no sino do separador. O material retido é transportado até o moinho de cru. O moinho de cru é constituído de 2 câmaras, bolas de aço, tem sua capacidade de produção de 320 a 350 t/h.



Figura 3.5: Moinho de bolas da moagem de cru (ECL, 2009)

A farinha quando pronta é transportada por um elevador até as calhas de transferência de dois silos. Do silo, a farinha é dosada pelas válvulas de dosagem, que alimentam uma tremonha, e logo passa por duas balanças dosadoras, que alimentam os elevadores de alimentação da torre de ciclone.

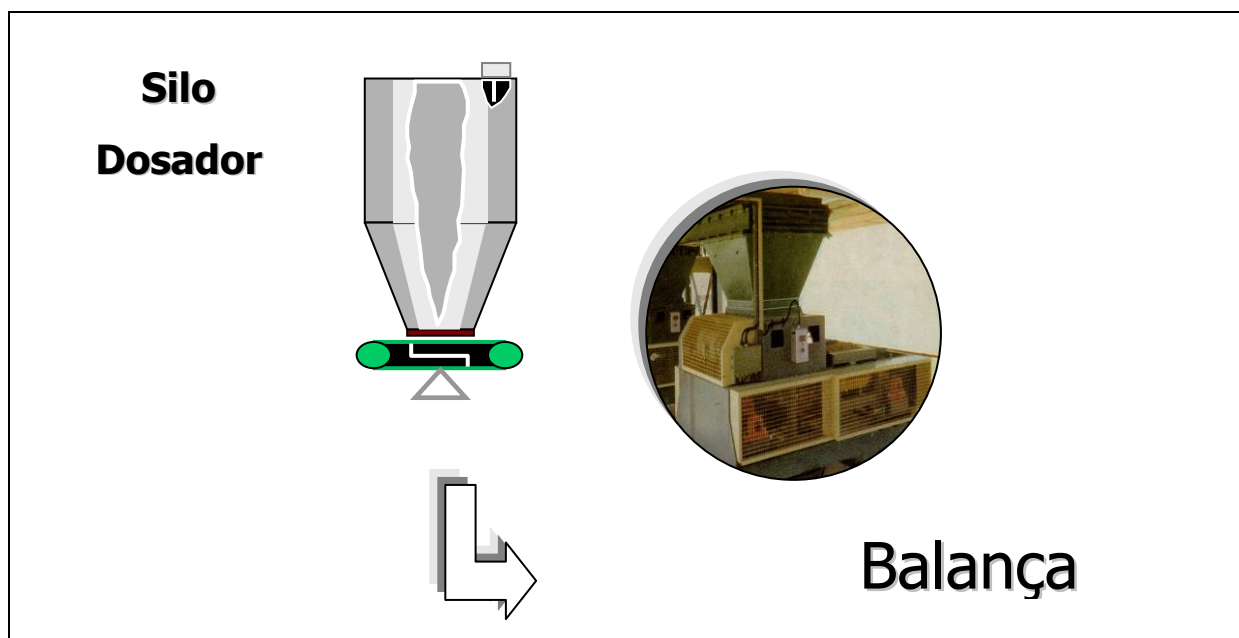


Figura 3.6: Silo e Balança Dosadora

3.4 Torre de Ciclone

A alimentação do material é feita na parte superior da torre. O ventilador que se vê junto à torre de ciclones aspira o ar externo através dos arrefecedores que se vêem a jusante do forno e que o circundam.

A torre de ciclones ao longo do percurso vai fazendo a transferência do calor do ar para o material ocorrendo à perda de CO_2 e iniciando-se a pré-calcinação da farinha de cru. No topo da torre a temperatura é de 400°C e no fundo é de 900°C . Com a perda de CO_2 , por cada 1600 kg de material alimentado no topo, apenas 1000 Kg chegam ao fundo da torre. O forno e a torre são visíveis em qualquer lugar da empresa.

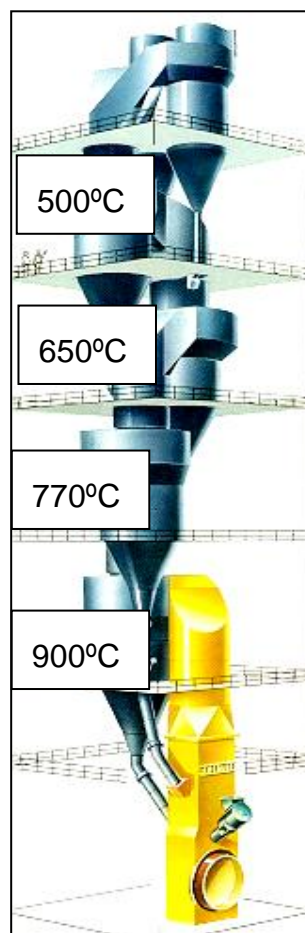


Figura 3.7: Torre de ciclone (acervo ECL,2009)

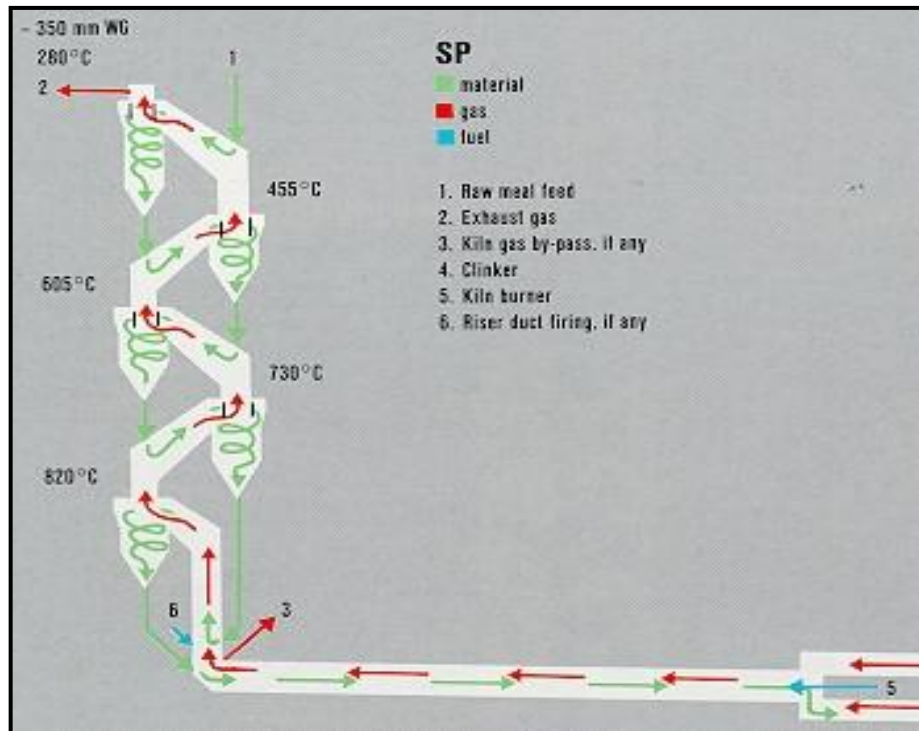


Figura 3.8: Torre de ciclone com 5 estágios (acervo ECL,2009)

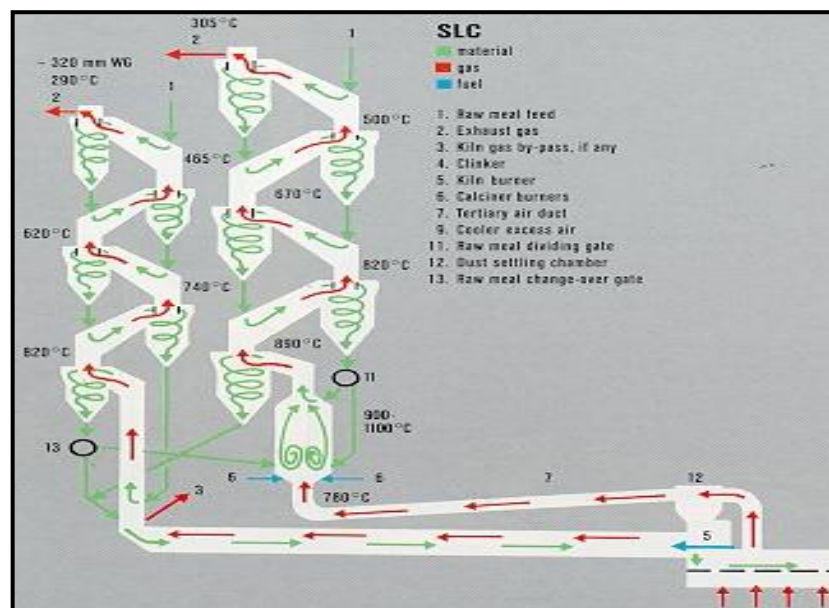


Figura 3.9: Torres de ciclone com 5 estágios cada (acervo ECL,2009)

3.5 Clinquerização

3.5.1 Forno de clínquer

Parte das reações de formação de silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio ocorre no interior do forno de cimento. Os fornos de cimento são na maioria rotativos, cilindros horizontais de até 160 metros de comprimento. Um leve ângulo de inclinação combinado ao lento movimento de rotação (de 0,5 a 4,0 rpm) permite que o material percorra o cilindro à medida que desliza pelas paredes. Internamente, há um revestimento de material refratário que protege a carcaça do forno das altas temperaturas e isolantes térmicos que conservam o calor no seu interior, Wikipédia - Cimento (2011).



Figura 3.10: Forno (ECL,2009)



Figura 3.11: Mancais do forno (acervo ECL,2009)

A matéria prima permanece no forno por um tempo de aproximadamente 4 horas e atinge temperaturas de clinquerização de $1.230\text{ }^{\circ}\text{C}$ (menor temperatura produz cal e maior temperatura apenas aumenta o consumo energético) suficientes para torná-la incandescente e pastosa. A capacidade de produção de um forno médio é 3.000 a 4.000 toneladas por dia, os maiores fornos do mundo produzem até 10.000.

3.5.2 Fabricação de clínquer

Ocorre através da queima a alta temperatura da mistura de minerais, desta forma ocorre transformação dos minerais em materiais que tem propriedades hidráulicas. As reações dos compostos que se formam dentro do forno. (Wikipédia - Cimento, 2011).

- silicato tricálcico $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ 45-75%
- silicato dicálcico $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ 7-35%
- aluminato tricálcico $(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$ 0-13%
- ferroaluminato tetracálcico $(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ 0-18%

Queimam-se estes materiais a 1450°C; na temperatura de clínquerização os materiais não se fundem completamente, formam um estado de semifusão e se sinterizam. Inicialmente o carbonato de cálcio se decompõe em óxido de cálcio e gás carbônico.



Figura 3.12: Maçarico (ECL,2009)

A uma temperatura maior, o CaO reage com a sílica e o alumínio para formar os aluminatos e silicatos. Devido à complexidade dos compostos do cimento portland, é normalmente empregada uma abreviação para identificá-los, respectivamente, C_3S ; C_2S ; C_3A ; C_4AF ; $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$; $\text{C}_3\text{S}2\text{H}_3$ e CSH_2 .

Todos esses compostos têm a propriedade de reagir com a água, dando origem, então, a compostos hidratados. Outros constituintes secundários são encontrados tais como: periclásio (MgO); anidrita (CaSO_4); sulfo silicato de cálcio ($2 \text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$), etc.

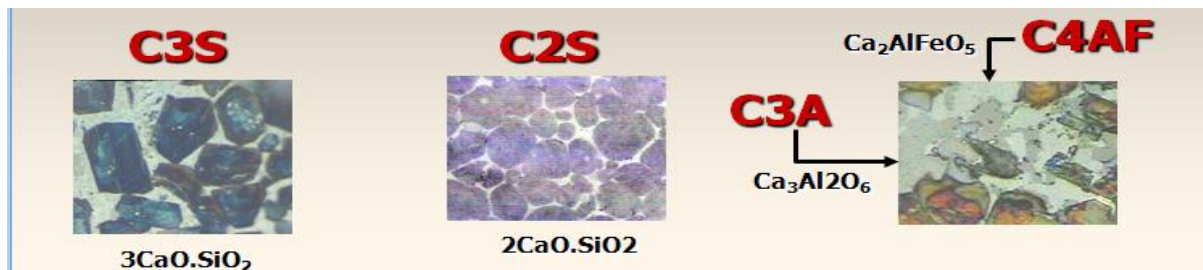


Figura 3.13: Componentes Principais do Clinquer (ECL, 2010)

3.5.3 Sínteses dos componentes

A síntese destes componentes é função da composição química do cru e das composições físicas de operação do forno. Como alguns componentes são instáveis necessita-se de um resfriamento rápido para estabilizá-los. Com isto devemos concluir que a síntese de um clinquer numa fábrica, utilizando sempre as mesmas matérias primas, pode produzir diferentes clínqueres, onde a qualidade do mesmo irá depender de sua utilização, como referencia avaliação da resistência do cimento.

Consiste na etapa que se passa nos fornos rotativos e onde se dá a transformação química dos minerais naturais (farinha) em minerais sintéticos (clinquer). O clinquer pode ser definido como um produto granulado, obtido por tratamento térmico de uma mistura adequada de calcário e argila até fusão parcial e posterior reação química entre os óxidos de sílica, cálcio, ferro e alumínio.



Figura 3.14: Clinker para análise do laboratório (ECL, 2011)



Figura 3.15: Foto do Clinker (ECL,2011)

O clinker um produto constituído na sua maior parte por silicatos (75%) e em proporções menores de aluminatos e ferro-aluminatos cálcicos. Os componentes principais do clinker são o C_3S ($3CaO.SiO_2$), C_2S ($2CaO.SiO_2$), C_3A ($3CaO.Al_2O_3$) e C_4AF ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$), sendo o C_3S o principal destes, já que é o maior responsável pelo desenvolvimento das propriedades de resistência do clinker. Sendo assim, podemos caracterizar a clinquerização como um processo de fabricação de C_3S , onde se deve garantir que este produto esteja presente na quantidade e qualidade adequadas, Coutinho (2002).

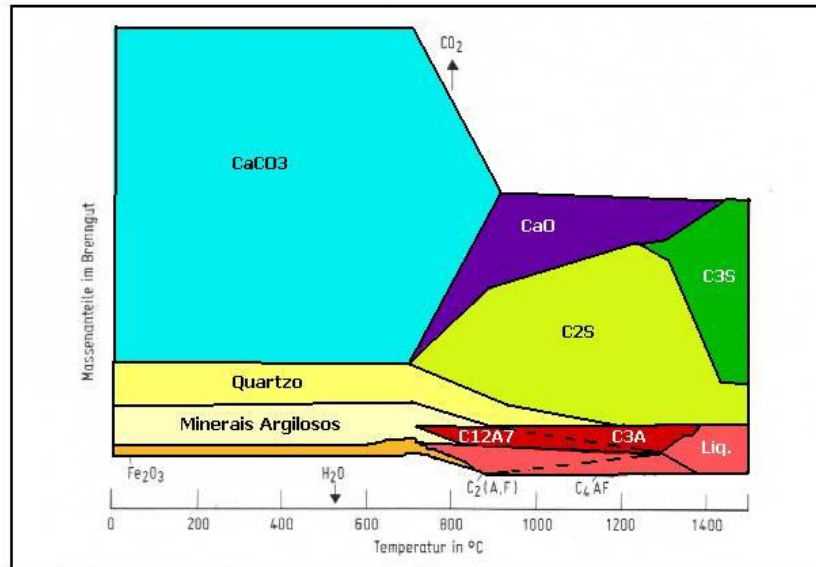


Figura 3.16: Resfriador de Clínquer (acervo ECL, 2010)

As reações que ocorrem para a produção do clínquer são de difusão iônica entre sólidos, esta difusão é acelerada com o aparecimento de uma fase líquida, localizada na interface dos grãos e que começa a se formar a temperaturas próximas de 1300°C. A velocidade de difusão e a capacidade de clínquerização estão relacionadas à quantidade e à viscosidade desta fase líquida. (C_4AF e C_3A)

3.5.4 Resfriador de Clínquer

A figura 3.18 mostra esquematicamente o resfriamento do clínquer, que sai do forno e passa ao equipamento resfriador, que pode ser de vários tipos. Sua finalidade é reduzir a temperatura, mais ou menos rapidamente, pela passagem de uma corrente de ar frio no clínquer, ao mesmo tempo em que recupera o calor contido no clínquer. Dependendo da instalação, na saída do resfriador o clínquer apresenta-se com temperatura entre 70°C e 50°C, em média. O clínquer, após o resfriamento, é transportado e estocado em depósitos.

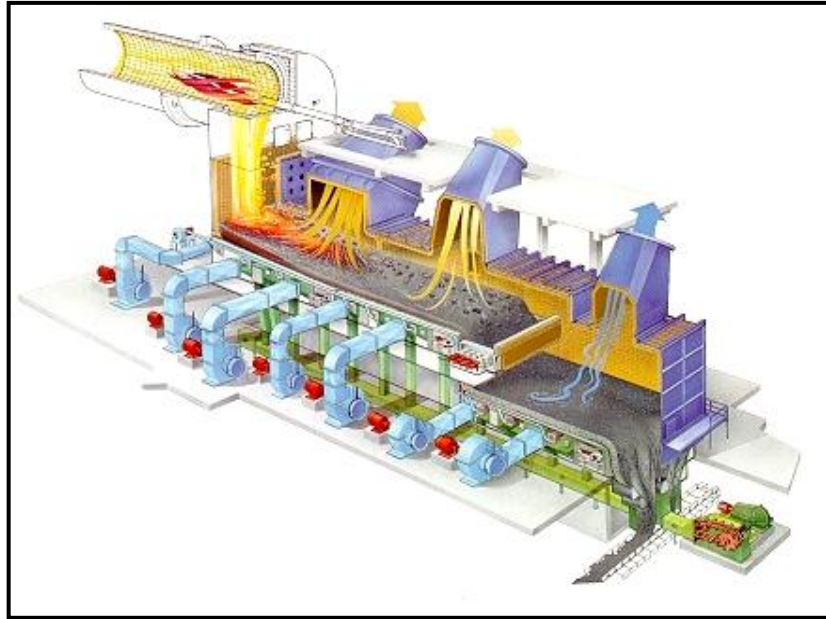


Figura 3.17: Resfriador de Clínquer (acervo ECL, 2010)

3.6 Moagem de Cimento

O clínquer produzido é moído juntamente com outros materiais aditivos (gesso, calcário, escória, pozolanas). Nesta etapa o cimento é composto segundo as normas de definição e regulamentação do produto desejado.

A fábrica da Empresa de Cimentos Liz (ECL) em Vespasiano - MG possui 3 moinhos de bolas, com duas câmaras cada e capacidades de produção de 120 t/h por moinho. A moagem acontece junto os aditivos: calcário, escória e gesso e pozolanas, desta mistura é obtido então o cimento.

3.6.1 Matérias – primas principais para compor o cimento

C clínquer – material proveniente da transformação da farinha no forno rotativo.

Filler (CaCO_3) – na verdade o filler é considerado um aditivo.

Gesso (CaSO_4) – utilizado para promover trabalhabilidade ao cimento.

3.6.2 Aditivos propriamente utilizados na moagem de cimento

Escória – é obtida como subproduto em processos metalúrgicos industriais (siderurgias).

Material pozolânico – são materiais silicosos ou sílico – aluminosos que podem ou não possuir propriedades cimentantes.

3.6.3 Dosagem de Aditivos

Cada uma das matérias, primas ou aditivos, possui uma balança dosadora que controla a quantidade adicionada ao moinho. O sistema de dosagem é semelhante ao apresentado na moagem de cru. Todos os materiais são dosados em um único transportador de alimentação do moinho. A alimentação é feita diretamente a um moinho de bolas. O estágio final de manufatura de uma fábrica de cimento é a moagem do clínquer do forno, misturado com cerca de 4 – 5 % de gesso, gerando o cimento.

Em modernas plantas de cimento, o consumo específico de energia é de aproximadamente 100 kWh/t. O processo de moagem de cimento contribui com cerca de 40% deste consumo, além disto, a qualidade do cimento é muito dependente do modo de operação e dos parâmetros da planta de moagem. Assim, com vistas à qualidade do produto, bem como ao consumo específico de energia, é importante que a planta de moagem tenha projeto e operação adequados.

Muitas pessoas acreditam que todo clínquer tem a mesma moabilidade. Isto não é verdade. Experiências mostram que o consumo específico de energia requerido para se obter certa finura varia de menos de 25% a mais de 50%, na média. Clínquer com um baixo fator de saturação apresenta um alto conteúdo de C_2S e geralmente é difícil de moer. Existem vários fatores que apresentam influência na moabilidade. Por exemplo, clínquer com um alto conteúdo de pequenos poros será fácil de moer. Outros fatores como tamanho dos cristais, velocidade de resfriamento após queima, certamente exercem influência sobre a moabilidade.

O moinho de cimento, semelhante ao moinho de cru, é um moinho de bolas, com duas câmaras. Porém, num moinho de cimento, ao contrário do moinho de cru, a segunda câmara é

maior que a primeira. Isto porque, o cimento requer uma finura mais apurada do que a farinha. Abaixo, tem – se um desenho em corte que mostra o interior de um moinho de cimento:

Ambas as câmaras de um moinho de cimento possuem injeção de água. Esta água serve para refrigeração. A alta temperatura do clínquer a ser moído e o próprio atrito no trabalho de moagem, geram uma elevação da temperatura no interior do moinho. Uma alta temperatura no interior do moinho pode causar completa desidratação do gesso, com o risco de provocar pega falsa no cimento.

Além disso, pode ocorrer à formação de *coating*, o que reduz a eficiência de moagem. Para evitar estes problemas, faz-se necessário um resfriamento no interior do moinho. Se este resfriamento dependesse apenas do ar de resfriamento do moinho, seria necessária uma grande quantidade de ar. Utilizando-se água para auxiliar neste resfriamento, a quantidade de ar necessária será menor, e o consumo específico de energia da instalação diminuirá.

Quando a temperatura de entrada do clínquer está em torno de 50°C, não se faz necessária a injeção de água de resfriamento na primeira câmara. A partir de 100°C, este resfriamento com água já se faz necessário. Introduzir-se água desnecessariamente, pode se provocar uma hidratação prévia do cimento, comprometendo a sua resistência final.

O bico de injeção de água possui uma ponteira em ângulo. Esta ponteira deve ser ajustada de forma que o fluxo de água não atinja diretamente o material. A água deve entrar como um *spray*, nebulizada. Desta forma, a troca de calor é mais efetiva e também se evitam problemas como entupimento de grelhas e formação de bolas (cimento endurecido).

A atomização é feita com ar comprimido. A temperatura de saída do cimento deve oscilar entre 105 – 115°C. Este controle deve ser muito minucioso para conferir uma boa qualidade ao cimento. A produtividade de um moinho de cimento depende do tipo de cimento que é fabricado. Isto porque, cada tipo de cimento apresenta uma finura diferente.

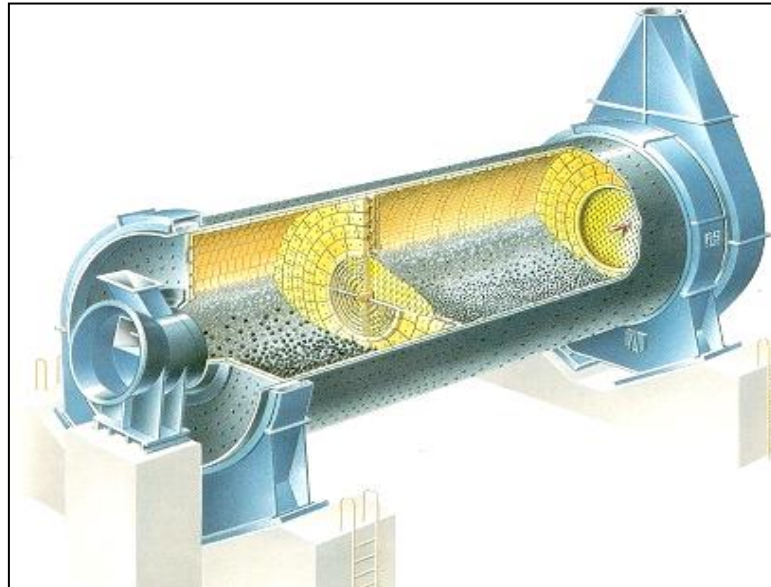


Figura 3.18: Moinho de Bolas com 2 Câmaras (acervo ECL,2010)

3.7 O Cimento Como Produto Final

É apresentado sob forma de diversas misturas que constituem os diversos tipos, cada um com características específicas de aplicação. O componente principal dos diferentes tipos de cimentos assim obtidos é o clínquer portland. É da composição química e cristalina do clínquer, que derivam as propriedades aglomerantes e hidráulicas dos diferentes tipos de cimento.

O segundo componente essencial dos diferentes tipos de cimento, é o sulfato de cálcio, que comercialmente pode ser encontrado sob diversas formas no gesso natural e artificial. A adição do gesso é necessária para regular o processo de endurecimento do cimento.

Outro grupo de componentes, como por exemplo, calcário puro, escória de alto forno, cinza volante pozolanas naturais ou artificiais, podem estar presentes nos cimentos, formando os diversos tipos de cimento definidos por norma, tendo cada um suas características próprias. Estes componentes contribuem em geral para melhorar algumas propriedades específicas do respectivo cimento. Os principais tipos de cimentos produzidos no mercado são apresentados na tabela 3.1 – Cimentos Existentes no Mercado.

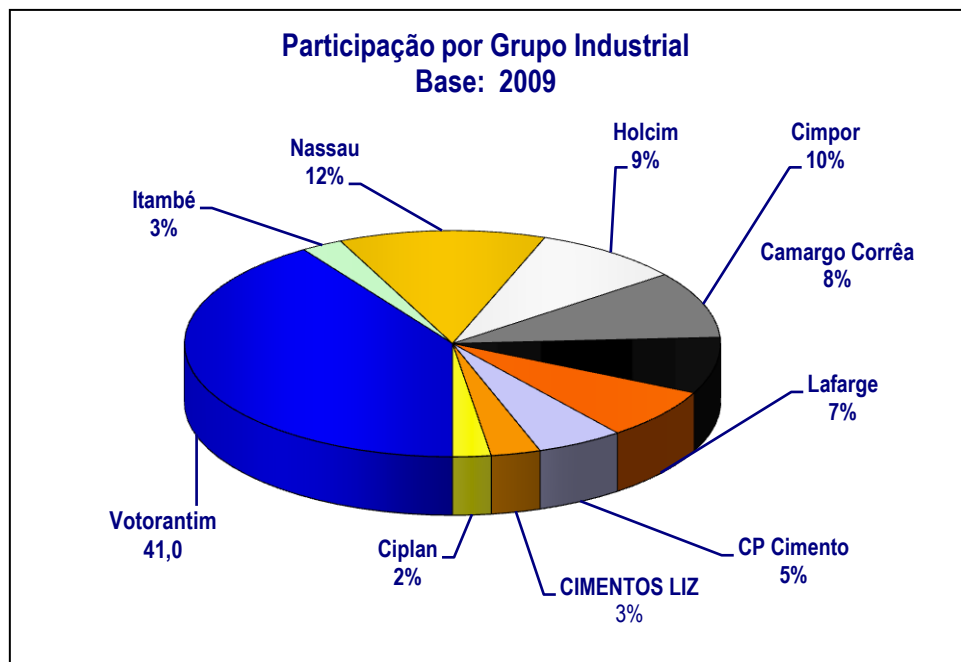


Figura 3.19: Participação por Grupo Industrial (SNIC, 2010)



Figura 3.20: Moinho Vertical de Cimento (ECL,2011)

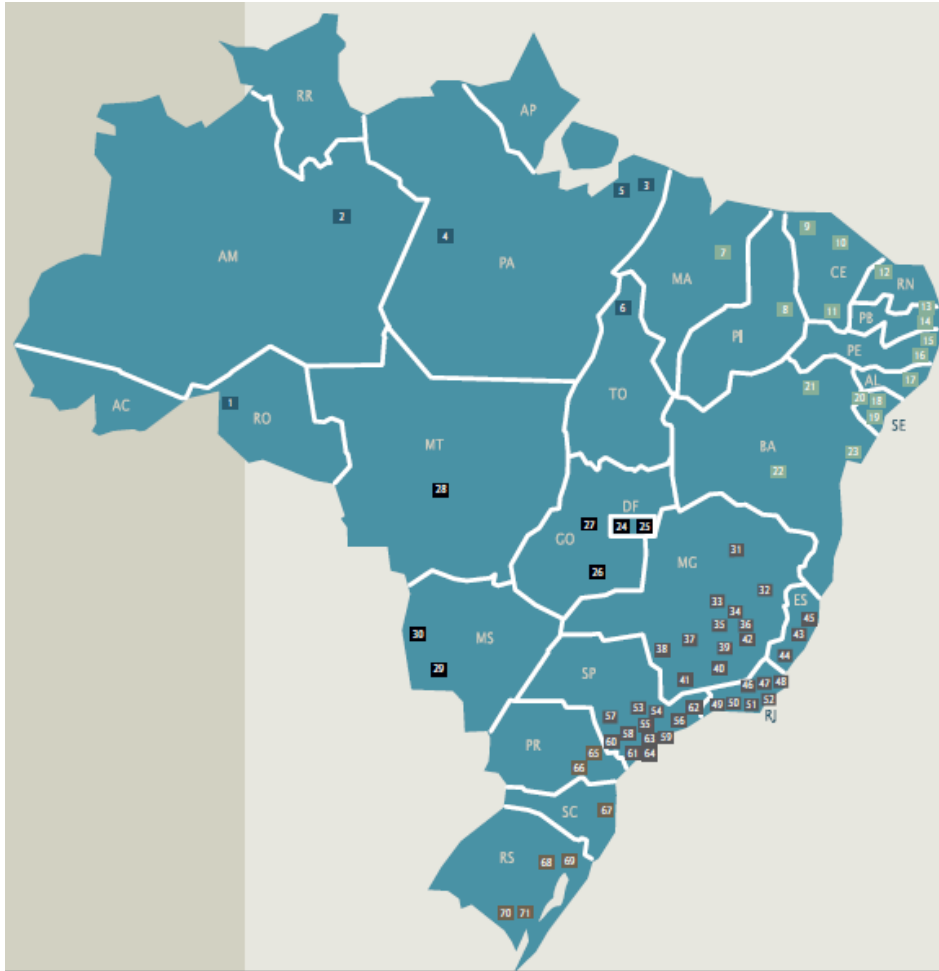


Figura 3.21: Fábricas de Cimento no Brasil (SNIC,2009)

4. CONCLUSÕES

O mercado de cimento ainda tem muito a crescer, com novas tecnologias e mãos-de-obra qualificadas. A produção de cimento está em plena expansão mundial, estima-se que em 2010 o mercado brasileiro alcançou a casa de 59,121 milhões de toneladas de cimento produzidos. De quebra batendo recordes vendas e com um aumento de 14,8% em relação ao ano passado. Com isso as empresas cimenteiras estão investindo pesado em se modernizarem e criando novas plantas. (Fonte SNIC).

Mas as indústrias cimenteiras estão aquém de serem pólos de tecnologias, muitas empresas ainda operam com equipamentos já ultrapassados que consomem muita energia. Os empresários devem se preocupar em modernizar as plantas já existentes e construir novas plantas cimenteiras para conseguir abastecer o mercado que consome cada vez mais.

5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma nova tecnologia que as empresas estão dispostas a gastar milhões para economizar energia e aumentar a produtividade é o moinho vertical de rolos para moer clínquer. Está sendo instalado em Vespasiano o maior moinho desse gênero na América Latina na Empresa de Cimentos Liz.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COUTINHO, J. S. Ciência de Materiais 1ª Parte Documento

BASILIO, F. A. – Cimento Portland. Estudo Técnico. 5ª ed. São Paulo, ABCP, 1983.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Cimento Portland (ABCP) . Boletim Informativo Ilustrado n.3.

BASÍLIO, F. A. Durabilidade dos concretos; permeabilidade, corrosão eletrolítica. São Paulo, ABCP, 1970.

BLAINE, R. L. Interrelations between cement and concret properties. Washington, D.C., National Bureau of Standarts, 1965.

Cimento portland pozolânico. São Paulo, ABCP, 1978.

LAFUMA, H. Les ciments, généralités, caractéristíques; actíon du milieu. Bulletin de Liaison des Laboratoíres Roitiers, Paris, (Spécial 0) : 12-39, Jui. 1970.

LEA, F Meashan. The chemistry of cement and concret. 2ª.ed. London, Arnold, 1956.

MARINGOLO, V. Clinquer co-processado: Produto de tecnologia integrada para sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento, São Paulo, 2001. 174p.

PEREIRA, E. B. Perfil analítico da gipsta. Rio de Janeiro, DNPM, 1973. 19p. (Bol. n. 15).

SOARES, A. K. Cimento portland de alto forno. São Paulo, ABCP, 1978.

TAYLOR, H. F. W., The chemistry of cement. London, Academic Press, 1964. 2v.

TORRES, A. F. Constituição química do cimento portland. São Paulo, 1941.

TORRES, A. F. Materiais de construção; notas de aula. São Paulo, ABCP, 1965.

VENAUT, M. & PAPADAKIS, M. Controle et essais des ciments, mortiers, beions. Paris, Eyrolles, 1961.

7. ANEXOS

ANEXO I - CIMENTOS EXISTENTES NO MERCADO (WIKIPÉDIA - CIMENTO, 2011)

TIPO	SIGLA	CLASSE	Clínquer + sulfato de cálcio	Escória Granul. de alto forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland Comum	CP I	32 - 40	100		0	
	CP I-S	32 - 40	100 - 95			0 - 5
Cimento Portland Composto	CP II-E	32 - 40	94 - 56	6 - 34		0 - 10
	CP II-Z	32 - 40	94 - 76		6 - 14	0 - 10
	CP II-F	32 - 40	94 - 90			6 - 10
Cimento Portland Alto Forno	CP III	32 - 40	65 - 25	35 - 70		0 - 5
Cimento Portland Pozolânico	CP IV	32	85 - 55		15 - 50	0 - 5
Cimento Portland Alta Resistência Inicial	CP V-ARI		100 - 95			0 - 5

ANEXO II - MAIORES CONSUMIDORES MUNDIAL DE CIMENTO (SNIC, 2010).

PAÍSES / COUNTRY	2002	2003	2004	2005	2006	2007*	2008*
1. China	720,7	857,8	961,9	1.058,3	1.218,1	1.345,3	1.375,7
2. Índia/Índia	110,9	117,5	126,8	137,1	152,2	165,9	181,0
3. Estados Unidos/U.S.A	109,4	113,5	121,3	128,0	127,3	114,6	97,4
4. Rússia/Russia	36,3	39,4	44,0	46,6	52,5	60,3	59,1
5. Brasil **/Brazil**	38,9	34,9	35,8	37,7	41,0	45,1	51,6
6. Japão/Japan	64,6	60,1	58,0	59,0	58,6	56,8	51,4
7. Coréia do Sul/Rep. of Korea	54,3	58,3	54,9	46,3	48,4	50,8	50,6
8. Irã/Iran	27,5	29,7	31,4	31,3	34,8	40,0	43,5
9. Espanha/Spain	44,1	46,2	48,0	51,5	55,9	56,0	42,7
10. Egito/Egypt	25,0	26,4	26,4	30,1	33,2	36,8	42,5
11. Itália/Italy	41,3	43,5	46,4	46,1	46,9	46,4	41,8
12. Turquia/Turkey	26,8	28,1	30,7	35,1	41,6	42,5	40,6
13. Indonésia/Indonesia	27,2	27,5	30,2	31,5	32,0	34,2	38,1
14. Vietnã/Vietnam	21,1	24,2	26,2	30,9	32,7	35,5	36,0
15. México/Mexico	28,8	29,6	30,9	32,7	35,9	36,8	35,1
Total Mundial / World Total	1.835,4	2.012,6	2.180,8	2.334,8	2.587,0	2.781,4	2.808,3

**ANEXO III - LOCALIZAÇÃO DAS FÁBRICAS DE CIMENTO REGIÃO NORTE
(SNIC, 2009)**

	Nº	FÁBRICA	MUNICÍPIO	UF	GRUPO INDUSTRIAL
REGIÃO NORTE	1	PORTO VELHO	PORTO VELHO	RO	VOTORANTIM
	2	ITAUTINGA	MANAUS	AM	JOÃO SANTOS
	3	CIBRASA	CAPANEMA	PA	JOÃO SANTOS
	4	ITAITUBA	ITAITUBA	PA	JOÃO SANTOS
	5	BARCARENA	BARCARENA	PA	VOTORANTIM
	6	XAMBIOÁ	XAMBIOÁ	TO	VOTORANTIM

**ANEXO IV - LOCALIZAÇÃO DAS FÁBRICAS DE CIMENTO REGIÃO
NORDESTE (SNIC, 2009)**

REGIÃO NORDESTE	7	ITAPICURU	CODÓ	MA	JOÃO SANTOS
	8	ITAPISSUMA	FRONTEIRAS	PI	JOÃO SANTOS
	9	SOBRAL	SOBRAL	CE	VOTORANTIM
	10	PECÉM	CAUCAIA	CE	VOTORANTIM
	11	ITAPUÍ	BARBALHA	CE	JOÃO SANTOS
	12	ITAPETINGA	MOSSORÓ	RN	JOÃO SANTOS
	13	CIMPOR	JOÃO PESSOA	PB	CIMPOR
	14	CAAPORÁ	CAAPORÁ	PB	VOTORANTIM
	15	ITAPESSOCA	GOIANA	PE	JOÃO SANTOS
	16	CAMARGO CORRÊA	CABO DE STO. AGOSTINHO	PE	CAMARGO CORRÊA
	17	CIMPOR	SÃO M. DOS CAMPOS	AL	CIMPOR
	18	LARANJEIRAS	LARANJEIRAS	SE	VOTORANTIM
	19	ITAGUASSU	N. SRA. DO SOCORRO	SE	JOÃO SANTOS
	20	MIZU	PACATUBA	SE	OUTROS
	21	CIMPOR	CAMPO FORMOSO	BA	CIMPOR
	22	CIMPOR	BRUMADO	BA	CIMPOR
	23	ARATU	CANDEIAS	BA	VOTORANTIM

**ANEXO V - LOCALIZAÇÃO DAS FÁBRICAS DE CIMENTO REGIÃO CENTRO-
OESTE (SNIC, 2009)**

REGIÃO CENTRO-OESTE	24	CIPLAN	SOBRADINHO	DF	CIPLAN
	25	SOBRADINHO	SOBRADINHO	DF	VOTORANTIM
	26	CIMPOR	CEZARINA	GO	CIMPOR
	27	COCALZINHO	COCALZINHO	GO	VOTORANTIM
	28	NOBRES	NOBRES	MT	VOTORANTIM
	29	CAMARGO CORRÊA	BODOQUENA	MS	CAMARGO CORRÊA
	30	CORUMBÁ	CORUMBÁ	MS	VOTORANTIM

**ANEXO VI - LOCALIZAÇÃO DAS FÁBRICAS DE CIMENTO REGIÃO SUDESTE
(SNIC, 2009)**

REGIÃO SUDESTE	31	LAFARGE	MONTES CLAROS	MG	LAFARGE
	32	CAMARGO CORRÊA	SANTANA DO PARAISO	MG	CAMARGO CORRÊA
	33	LAFARGE	MATOZINHOS	MG	LAFARGE
	34	LIZ	VESPASIANO	MG	LIZ
	35	HOLCIM	PEDRO LEOPOLDO	MG	HOLCIM
	36	CAMARGO CORRÊA	PEDRO LEOPOLDO	MG	CAMARGO CORRÊA
	37	LAFARGE	ARCOS	MG	LAFARGE
	38	ITAÚ DE MINAS	ITAÚ DE MINAS	MG	VOTORANTIM
	39	TUPI	CARANDAÍ	MG	C.P.CIMENTO
	40	HOLCIM	BARROSO	MG	HOLCIM
	41	CAMARGO CORRÊA	IJACI	MG	CAMARGO CORRÊA
	42	LAFARGE	SANTA LUZIA	MG	LAFARGE
	43	HOLCIM	SERRA	ES	HOLCIM
	44	ITABIRA	C. DE ITAPEMIRIM	ES	JOÃO SANTOS
	45	MIZU	VITÓRIA	ES	OUTROS
	46	RIO NEGRO	CANTAGALO	RJ	VOTORANTIM
	47	LAFARGE	CANTAGALO	RJ	LAFARGE
	48	HOLCIM	CANTAGALO	RJ	HOLCIM
	49	TUPI	VOLTA REDONDA	RJ	C.P.CIMENTO
	50	VOLTA REDONDA	VOLTA REDONDA	RJ	VOTORANTIM
	51	CSN	VOLTA REDONDA	RJ	OUTROS
	52	MIZU	RIO DE JANEIRO	RJ	OUTROS
	53	HOLCIM	SOROCABA	SP	HOLCIM
	54	SANTA HELENA	VOTORANTIM	SP	VOTORANTIM
	55	SALTO	SALTO DE PIRAPORA	SP	VOTORANTIM
	56	CUBATÃO	CUBATÃO	SP	VOTORANTIM
	57	LAFARGE	ITAPEVA	SP	LAFARGE
	58	RIBEIRÃO GRANDE	RIBEIRÃO GRANDE	SP	VOTORANTIM
	59	TUPI	MOGI DAS CRUZES	SP	C.P.CIMENTO
	60	CAMARGO CORRÊA	APIAÍ	SP	CAMARGO CORRÊA
	61	CIMPOR	CAJATI	SP	CIMPOR
	62	CAMARGO CORRÊA	JACAREÍ	SP	CAMARGO CORRÊA
	63	MIZU	MOGI DAS CRUZES	SP	OUTROS
	64	SP CIM	SUZANO	SP	OUTROS

**ANEXO VII - LOCALIZAÇÃO DAS FÁBRICAS DE CIMENTO REGIÃO SUL
(SNIC, 2009)**

REGIÃO SUL	65	RIO BRANCO	RIO BRANCO DO SUL	PR	VOTORANTIM
	66	ITAMBÉ	BALSA NOVA	PR	ITAMBÉ
	67	ITAJAÍ	ITAJAÍ	SC	VOTORANTIM
	68	CIMPOR	NOVA SANTA RITA	RS	CIMPOR
	69	ESTEIO	ESTEIO	RS	VOTORANTIM
	70	CIMPOR	CANDIOTA	RS	CIMPOR
	71	PINHEIRO MACHADO	PINHEIRO MACHADO	RS	VOTORANTIM

**ANEXO VIII - FLUXOGRAMA PROCESSO PRODUTIVO CIMENTO PORTLAND
(FARENZENA, 1995)**

