

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MIQUÉIAS GONTIJO DELABRIDA

MELHORIA EM UM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA
CIMENTEIRA NO CENTRO-OESTE – MG

FORMIGA-MG

2011

MIQUÉIAS GONTIJO DELABRIDA

MELHORIA EM UM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA
CIMENTEIRA NO CENTRO-OESTE – MG.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação Geral de Graduação do UNIFOR-
MG, como requisito para obtenção do título de
bacharel em Engenharia de Produção.
Orientadora: Ms. Andréa da Silva Peçanha

FORMIGA-MG

2011

MIQUÉIAS GONTIJO DELABRIDA

MELHORIA EM UM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA
CIMENTEIRA NO CENTRO-OESTE – MG.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação Geral de Graduação do UNIFOR-
MG, como requisito para obtenção do título de
bacharel em Engenharia de Produção.
Orientadora: Ms. Andréa da Silva Peçanha

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Ms. Andréa da Silva Peçanha
Orientadora

Examinador

FORMIGA-MG
2011

RESUMO

Este trabalho consiste na elaboração de um estudo focado na análise do processo de produção do clínquer em um forno vertical, produto principal para fabricação do cimento Portland. Este trabalho se baseia em adaptações realizadas em um forno vertical, para se adequar as legislações ambientais no país, no que possibilitou uma grande melhoria em termos de estabilidade do processo produtivo, redução de custos e ganho de produção. O referencial teórico foi de extrema importância para o conhecimento técnico. O procedimento metodológico para coleta de dados se deu através do banco de dados da empresa e através de pesquisa de campo.

Os objetivos deste trabalho foram identificar os ganhos obtidos, após a realização da melhoria implantada.

Palavras-chave: Melhoria. Qualidade, Processo e Cimento Portland.

ABSTRACT

This monograph is the development of a study focused on the analysis of the production process of clinker in a kiln, major product for the manufacture of Portland cement. This work is based on adjustments made in a kiln to suit the environmental laws in the country, in which enabled a great improvement in stability of the production process, cost reduction and output gain. The theoretical framework was extremely important for technical knowledge. The methodological approach for collecting data was through the database of the company and through field research.

Our objectives were to identify the gains made after completion of the improvements implemented.

Keywords: Improvement. Quality, Process and Portland Cement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01: Nomenclatura usual de Cimento Portland.....	16
FIGURA 02: Mina de Calcário.....	26
FIGURA 03: Desenho Esquemático dos Primeiros Fornos Verticais.....	39
FIGURA 04: CRI- MVSK – (Modern Vertical-Shaft Kiln).....	40

TABELA 01: Composição dos tipos de cimento produzidos no Brasil.....	17
GRÁFICO 01: Redução no Quadro de Funcionários.....	43
GRÁFICO 02: Variação da Temperatura	44

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01: Cimento e suas Aplicações.....	18
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Problema.....	12
1.2 Justificativa	12
1.3 Hipóteses	13
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1 História do Cimento Portland.....	14
3.2 Tipos de Cimento Portland.....	15
3.3 Características e Propriedades Química	18
3.3.1 Composição Cimento Portland	20
3.3.1.2 Clínquer	20
3.3.1.3 Adições.....	21
3.3.1.3.1 Adições de Escórias.....	22
3.3.1.3.2 Adições de Gesso.....	22
3.3.1.3.3 Adições de Materiais Pozolânico.....	23
3.3.1.3.4 Adições de Materiais Carbonático.....	23
3.4 Características das Matérias-Prima	23
3.5 Fabricação de cimento.....	25
3.5.1 Mineração ou Extração.....	25
3.5.2 Dosagem das Matérias-Primas.....	27
3.5.3 Moagem da Mistura.....	28
3.5.4 Pré-Aquecimento e Pré-calcinação.....	28
3.5.5 Processo de Queima do Clínquer.....	29
3.5.6 Adições ativas.....	31
3.5.7 Moagem do Cimento Portland.....	32
3.5.8 Expedição.....	33
4 METODOLOGIA.....	34
4.1 Tipo de Pesquisa.....	34
4.2 Objeto da Pesquisa.....	35
4.3 Coleta de Dados.....	35
4.4 Interpretação dos Dados.....	35

5 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	36
5.1 Processo Produtivo Forno Vertical de Clínquer.....	36
5.2 Nodolização.....	39
5.3 Interrupções no Funcionamento do Nodolizador.....	39
5.4 Instabilidade no Processo de Nodolização.....	40
5.5 Redução de Mão-de-Obra.....	40
5.6 Controle Ambiental Filtro de Mangas.....	40
5.7 Controle Temperatura Filtros.....	41
6 CONCLUSÃO.....	45
REFERENCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

No Brasil o constante aquecimento no setor civil, fez com que houvesse uma grande explosão no consumo de cimento, sendo que atualmente o cimento é o segundo produto mais consumido no mundo, perdendo apenas para água.

A primeira fábrica a produzir normalmente, no Brasil, foi a Cia. Brasileira de Cimento Portland Perus, no ano de 1926. Hoje, o Brasil é um dos oito maiores produtores de Cimento Portland do mundo e, detém uma das mais avançadas tecnologias na fabricação desse insumo.

Dados preliminares da indústria e estimativas de mercado indicam que as vendas de cimento para o mercado interno brasileiro acumulado nos últimos doze meses (Out./09 a Set/10) atingiram 57,2 milhões de toneladas, apresentando crescimento de 12 % sobre o mesmo período do ano anterior.

Devido a esse mercado tão consumidor, é imprescindível que as empresas se preparem cada vez, otimizando seus processos produtivos em busca de minimizar suas anomalias e maximizar cada vez mais seus potenciais de produção, maximizando assim sua lucratividade, pois atualmente a procura pelo produto é bem maior do que o mercado pode oferecer.

1.1 Problema

Como melhorar um processo de produção aumentando a produtividade e reduzindo custos, objetivando produtos de qualidade a custos cada vez menores tornando a empresa sólida e competitiva?

1.2 Justificativa

Este trabalho busca uma melhor interação dentro do processo produtivo de uma indústria, visando identificar possíveis anomalias no processo produtivo, propiciando redução de custos e melhoria da qualidade.

Na busca incessante por um espaço no meio econômico mundial, as empresas precisam adequar-se ao mercado, inovar métodos e estruturar suas atividades para se manterem altamente competitivas.

Para isso, torna-se fundamental realizar um mapeamento no processo produtivo da instituição, em busca de descobrir onde pode ser trabalhado e aprimorado.

As contribuições deste trabalho têm como objetivo propor aperfeiçoamentos para o autor e para empresa, com a finalidade de incrementar o seu processo produtivo.

A pesquisa trata-se de um monitoramento e identificação de anomalias no processo produtivo da empresa, onde é importante saber o que a empresa está deixando de faturar e, quais melhorias podem ser realizadas dentro do processo produtivo para reduzir perdas e, conseqüentemente melhorar os seus resultados.

1.3 Hipóteses

A identificação e implementação de melhorias no processo produtivo condizentes com a realidade de cada setor organizacional pode influenciar diretamente nos resultados da empresa. Dentre os quais.

- Aumento de produtividade;
- Aumento da confiabilidade dos equipamentos;
- Redução de custos;
- Qualidade de processo.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Analisar os mecanismos do processo de produção de clínquer em uma indústria cimenteira, visando uma melhor otimização do seu processo produtivo.

2.2 Objetivos Específicos

- Descrever de maneira sucinta o processo produtivo de clínquer em um forno vertical.
- Analisar o processo de produção de clínquer de forma a contribuir com melhorias no processo de nodulização.
- Analisar os critérios utilizados no processo produtivo de forma a contribuir com redução de mão-de-obra, redução de energia, ganho de produtividade, corrigir instabilidade no processo contribuindo com os controles ambientais da organização.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Para se manter em pleno crescimento no mercado, as empresas buscam cada dia mais um maior aperfeiçoamento de seus processos produtivos, buscando soluções a cada dia mais inovadoras para conter os gastos e principalmente reduzir seus custos.

Neste estudo será abordado a história do cimento portland, os diversos tipos de cimento, sua composição química, seu processo de fabricação em suas várias etapas.

3.1 História do Cimento Portland

Conforme ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - (2002), o cimento é um pó fino com propriedades aglomerante, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido mesmo que seja novamente submetido a ação da água, o cimento Portland não se decompõe mais.

Segundo Battagin (2006) a palavra cimento é originada do latim caementu, que designava na velha Roma espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento remonta há cerca de 4.500 anos. Os imponentes monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. As grandes obras gregas e romanas, como o Panteão e o Coliseu , foram construídas com o uso de solos de origem vulcânica da ilha grega de Santorino ou das proximidades da cidade italiana de Pozzuoli , que possuíam propriedades de endurecimento da água.

De acordo com Associação Brasileira de Cimento Portland - (ABCP - 2002), em 1824 o construtor inglês Joseph Aspdin calcinou a mistura de pedras calcárias e argila, nas suas experiências ele obteve uma mistura que apos secar se tornava tão dura quanto as pedras usadas em construções na Inglaterra. O resultado da invenção se assemelhou em cor e na dureza as pedras da Ilha britânica de Portland, o material obtido não se dissolvia em água

e foi patenteado pelo construtor no mesmo ano com o nome de Cimento Portland.

Segundo Battagin (2006), no Brasil, a primeira tentativa de aplicar os conhecimentos relativos à fabricação do cimento Portland ocorreu em 1888, quando o comendador Antônio Proost Rodovalho empenhou-se em instalar uma fábrica em sua fazenda em Santo Antônio, Estado de São Paulo. Posteriormente, várias iniciativas esporádicas de fabricação de cimento foram desenvolvidas. Assim, chegou a funcionar durante três meses em 1892 uma pequena instalação produtora na ilha de Tiriri, na Paraíba. A usina de Rodovalho operou de 1897 a 1904, voltando em 1907 e extinguindo-se definitivamente em 1918. Em Cachoeiro do Itapemirim, o governo do Espírito Santo fundou, em 1912, uma fábrica que funcionou até 1924, sendo então paralisada, voltando a funcionar em 1936, após modernização.

Todas essas etapas não passaram de meras tentativas que culminaram, em 1924, com a implantação pela Companhia Brasileira de Cimento Portland de uma fábrica em Perus, Estado de São Paulo, cuja construção pode ser considerada como o marco da implantação da indústria brasileira de cimento.

As primeiras toneladas foram produzidas e colocadas no mercado em 1926. Até então, o consumo de cimento no país dependia exclusivamente do produto importado. A produção nacional foi gradativamente elevada com a implantação de novas fábricas e a participação de produtos importados oscilou durante as décadas seguintes, até praticamente desaparecer nos dias de hoje.

3.2 Tipos de Cimento Portland

Para conhecer as características e as propriedades dos diversos tipos de cimento Portland é necessário saber quais as suas composições.

Segundo ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - (2002), o Cimento Portland é composto de clínquer e de adições, sendo o clínquer o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento Portland.

São as adições que definem as propriedades dos cimentos, com isto, podem variar de um tipo de cimento para o outro.

A classificação do tipo de cimento se dá em função de sua composição química e esta é previamente definida em função da aplicação a qual o cimento será destinado. Os principais tipos de cimento fabricados no Brasil são:

- CPIS – 32;
- CPIIF – 32;
- CPIIZ – 32;
- CPIV – 32;
- CPV – ARI;
- CPIIE – 32;
- CPIII – 32/40.

Veja agora o que significa cada uma das letras acima. De acordo com Forster (1997) a Fig.1 mostra o significado da nomenclatura usual usada atualmente:

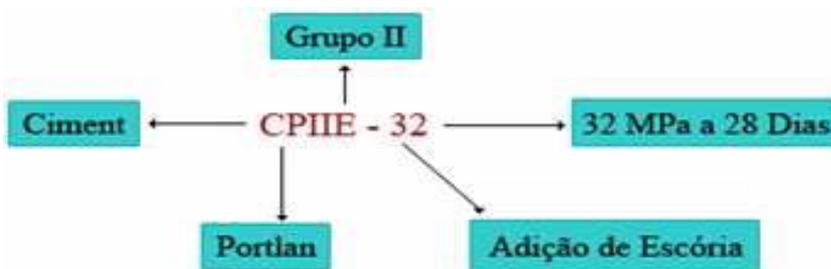


FIGURA 1- Nomenclatura usual de Cimento Portland.
Fonte: Votorantin Cimentos, 2000

As determinações das quantidades das matérias-primas que vão constituir os diversos tipos de cimento Portland, são determinadas pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, que no país é o órgão responsável para estabelecer padrões de referência para as adições.

TABELA 1 - Composição dos principais tipos de cimento produzidos no Brasil

TIPOS	Sigla	Composição em massa (%)				Normas Técnicas
		Clínquer + Gesso	Escória Alto-Forno	Material Pozolânico	Matéria Carbonática	
Cimento Portland Comum	CPI	100	-	-	-	NBR 5732
	CPI-S	95-99	1-5	1-5	1-5	
Cimento Portland Composto	CPII-E	56-94	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CPII-Z	76-94	-	6-14	0-10	
	CPII-F	90-94	-	-	6-10	
Cimento Portland de Alto-Forno	CPIII	25-65	35-70	-	0-5	NBR 5735
Cimento Portland Pozolânico	CPIV	45-85	-	15-50	0-5	NBR 5736
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	CPV-ARI	95-100	-	-	0-5	NBR 5733
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial e Resiste aos Sulfatos	CPV-ARI-RS	95-100	-	-	0-5	NBR 5737

Fonte: ABCP (2002) adaptada.

Os cimentos identificados acima como CPV – ARI e CPIV – 32, são destinados ao segmento técnico e apresentam como derivados os cimentos CPV – ARI RS e CPIV – 32 RS onde RS significa “resistente a sulfatos”. São especialmente destinadas a aplicação em regiões litorâneas ou construções de barragens, onde há uma grande exposição à maresia e umidade, e também em sapatas para edifícios em locais com presença de grande umidade.

De acordo com suas características, cada tipo de cimento apresenta aplicações específicas. O Quadro 1 mostra algumas aplicações e o tipo de cimento mais indicado para cada aplicação :

Aplicações	Características	CPI S	CPIIF	CPII E	CPIIZ	CPI II	CPIV	CPV ARI
Fundações	Res.Meio agressivo			X	X			
Estrutura	Deforma curto prazo	X						X
Assentamento	Aderência/Plasticidade							X
Artefatos	Res. Curto prazo	X						X
Tubos Concretos	Res. meio agressivo					X	X	
Concreto Protend	Alta resistência inicial	X						X
Obras Marítimas	Res. Cloret. e sulfatos					X	X	
Barragens	Baixo calor de hidrat					X	X	
Argamassa	Armada		X					
Concreto	Projetad. Aderência		X					

Quadro 1 - Cimento e suas aplicações

Fonte: Votorantin Cimentos, 2000

3.3 Características e Propriedades Químicas

O cimento Portland é produzido pela moagem do clínquer, que é um material formado pela calcinação das matérias primas que devem conter quantidades apropriadas de cálcio, sílica, alumina e ferro. As principais matérias primas utilizadas na fabricação de cimento são: calcário, argila e algum minério contendo óxido de ferro e/ou alumínio, caso esses óxidos não estejam presentes em quantidade suficiente na argila.

Na química do cimento as fórmulas químicas estão freqüentemente expressas como uma soma de óxidos; por exemplo, o silicato tricálcico, Ca_3SiO_5 , pode ser escrito como $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Isto não implica que os óxidos constituintes têm qualquer existência separada dentro da estrutura.

É usual abreviar a fórmula dos óxidos com letras únicas, como C para CaO ou S para SiO_2 . Assim, Ca_3SiO_5 , na notação simplificada, fica C_3S .

As abreviações mais amplamente usadas são:

C = CaO	S = SiO ₂	A = Al ₂ O ₃	F = Fe ₂ O ₃
M = MgO	K = K ₂ O	Š = SO ₃	N = Na ₂ O
T = TiO ₂	P = P ₂ O ₅	H = H ₂ O	È = CO

De acordo com Marciano (1991), os principais componentes mineralógicos do clínquer são os silicatos de cálcio, aluminatos, ferro-aluminatos, periclásio e CaO_{livre}.

Os constituintes Principais:

- Silicato tricálcico (3CaOSiO₂) abreviada por C₃S, denominado alita;
- Silicato dicálcico (2CaOSiO₂) abreviada por C₂S, denominado belita;
- Aluminato tricálcico (3CaOAl₂O₃), abreviada por C₃A;
- Ferro Aluminato tetracálcico (4CaOAl₂O₃Fe₂O₃), abreviada por C₄AF;
- Periclásio (MgO);
- CaO livre (CaO_{livre});

Os óxidos que reagem para formação destes compostos são: CaO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, e são provenientes das matérias-primas, que compõe o cru (farinha), por exemplo:

- Calcário fornece o CaO, sob a forma de carbonato de cálcio (CaCO₃);
- Areia fornece SiO₂;
- Argila fornece Al₂O₃, Fe₂O₃ e também SiO₂;

De acordo com Silva 1994, outros componentes também podem ser encontrados na composição do cru, e por sua vez também no clínquer. E por

incorporação ao clínquer de alguns elementos presentes nas cinzas dos combustíveis utilizados, geralmente são encontrados: MgO, SO₃, H₂O, K₂O e Na₂O. Elementos traços também podem ser encontrados tanto no cru como no clínquer.

De acordo com (Nelson e Guillot, 2006), a faixa usual de concentração dos óxidos presentes no cimento são descritas a seguir:

- CaO 60-70%
- SiO₂ 18-22%
- Al₂O₃ 4-6%
- Fe₂O₃ 2-4%

Podem também ser encontrados os seguintes compostos em baixa concentração: CaO (cal livre), MgO, K₂O, Na₂O, TiO₂, Mn₂O e SO₃.

3.3.1 Composição Cimento Portland

Segundo ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - (2002), o cimento Portland é composto de clínquer e de adições, sendo o clínquer o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento Portland. São as adições que definem as propriedades dos cimentos, com isto, podem variar de um tipo de cimento para o outro.

3.3.1.2 Clínquer

De acordo com ABCP, o clínquer tem como matérias-primas o calcário e a argila, ambos obtidos de jazidas em geral situadas nas proximidades das fabricas de cimento. A rocha calcária é primeiramente britada, depois moída e em seguida misturada, em proporções adequadas, com argila moída. A mistura

formada atravessa então um forno giratório de grande diâmetro e comprimento, cuja temperatura interna chega a alcançar 1450°C. O intenso calor transforma a mistura em um novo material, denominado clínquer, que se apresenta sob a forma de pelotas. Na saída do forno o clínquer, ainda incandescente, e bruscamente resfriado para posteriormente ser finamente moído, transformando-se em pó.

3.3.1.3 Adições

Segundo ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - (1999), “as adições são outras matérias-primas que, misturadas ao clínquer na fase de moagem, permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento Portland hoje disponíveis no mercado”.

As adições no geral são usadas para controle da qualidade, outras dão características relevantes ao cimento e outras por terem particularidades como elementos químicos semelhantes aos do clínquer, são usadas na redução de custos operacionais e acabam por conferir ao cimento pelo menos uma qualidade a mais.

As matérias-primas são o gesso, escórias de alto forno, materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos.

3.3.1.3.1 Adições de Escórias

Segundo De Paula (2009), atualmente o principal mercado de consumo da escória de alto forno obtida com coque mineral é a indústria cimenteira, sendo esta uma importante forma de aproveitamento deste resíduo. A produção anual de cimento gera aproximadamente 7,9% de toda a emissão de gás carbônico no mundo inteiro, sendo que metade disto resulta da calcinação do calcário e o restante provém do uso de combustíveis fósseis na produção do clínquer (Rostik, Erherenberg e Geisler, 1999). A substituição parcial do

clínquer na produção do cimento por materiais recicláveis, como no caso das escórias, corresponde a vantagens econômicas, energéticas, e ainda reduz o impacto ambiental negativo na fabricação do cimento, com a diminuição na formação de gases, especialmente o gás carbônico; economia de energia devido à redução do calor de formação do clínquer; preservação de recursos naturais, qualificando-se como uma prática sustentável (Murphy *et al*, 1997 Shi e Qian, 2000).

Conforme ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - (2002), as Escórias são subprodutos das indústrias siderúrgicas, onde é obtido através da produção de ferro-gusa. As escórias são semelhantes a grãos de areia, dentre suas características, elas possuem propriedades de ligante hidráulico muito resistente, ou seja, que reagem em presença de água, desenvolvendo características aglomerantes de forma semelhante a do clínquer, já que os dois produtos dependem de uma alta temperatura para ser formado. Sua adição desde que em proporções corretas, podem contribuir para que o cimento apresente melhorias em algumas propriedades, como maior durabilidade e maior resistência final.

3.3.1.3.2 Adição de Gesso

Segundo Carpio (2005), a adição de gesso ao clínquer tem a finalidade de controlar o tempo de endurecimento ou a pega, isto é, o início do endurecimento do clínquer quando este é misturado com água. Por isso o gesso é uma adição presente em todos os tipos de cimento Portland. A quantidade adicionada é pequena, em geral 3% de gesso para o total de clínquer em massa.

3.3.1.3.3 Adição de Materiais Pozolânico

De acordo com ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - (2002), materiais pozolânicos podem ser de origem natural, como as rochas vulcânicas, outras são obtidas artificialmente, como as cinzas volantes derivadas da queima do carvão mineral em usinas termelétricas. Estes materiais quando pulverizados, forem colocados em presença de outro material, no caso o clínquer que em presença de água, reage liberando hidróxido de cálcio, desta mistura obtém uma interação química, passando o sistema a apresentar propriedades de ligante hidráulico. A adição de materiais pozolânicos ao clínquer e moídos juntamente com gesso e viável desde que dentro dos limites especificados, podendo conferir ao cimento maior impermeabilidade.

3.3.1.3.4 Adição de Materiais Carbonático

Segundo ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - (2002), materiais carbonáticos são rochas moídas tendo em sua constituição principal o carbonato de cálcio. Sua adição no cimento confere ao concreto e a argamassa, maior facilidade durante o manuseio, isto porque, os grãos destes materiais possuem dimensões adequadas para se alojar entre os grãos dos demais componentes do cimento.

As determinações das quantidades das matérias-primas que vão constituir os diversos tipos de cimento Portland são determinadas pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, que no país é o órgão responsável para estabelecer padrões de referência para as adições.

3.4 Características das Matérias Primas

Calcário - O calcário representa mais de 70% em peso na composição da matéria-prima crua de acordo com (Silva, 1994), esta é uma forte razão para que as fábricas de cimento sejam localizadas próximas às jazidas. A extração do calcário segue as etapas de prospecção, mapeamento e projeto da lavra.

São constituídos basicamente de carbonato de cálcio CaCO_3 e dependendo da sua origem geológica podem conter várias impurezas, como magnésio, silício, alumínio ou ferro.

O carbonato de cálcio é conhecido desde épocas muito remotas, sob a forma de minerais tais como, o calcário e o mármore.

O calcário é uma rocha sedimentar, sendo a terceira rocha mais abundante na crosta terrestre e somente o xisto e o arenito são mais encontrados.

O elemento cálcio, que abrange 40% de todo o calcário, é o quinto mais abundante na crosta terrestre, após o oxigênio, silício, alumínio e o ferro.

De acordo com o teor de Magnésio o calcário se classifica em:

- Calcário Calcítico (CaCO_3) : O teor de MgO varia de 0 a 4%. Devido à maior quantidade de cálcio a pedra quebra com maior facilidade e em superfícies mais uniformes e planas. Este calcário, também por ter menor quantidade de carbonato de magnésio exige maior temperatura para descarbonatar.
- Calcário Dolomítico ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$): O teor de MgO é acima de 18% e por isso possui uma temperatura de descarbonatação ainda menor do que o calcário magnesiano.

- Calcário Magnesiano (MgCO_3): O teor de MgO varia de 4 a 18%. A presença maior de carbonato de magnésio faz com que este calcário tenha características bem diferentes do calcítico. É uma pedra mais dura, quebrando sempre de forma irregular, formando conchas de onde vem o nome de pedra cascuda. O calcário magnesiano necessita de menos calor e uma temperatura menor para descarbonatar do que o calcítico. É ideal para fabricação de cal.

Obs: Apenas o calcário vem sendo utilizado na fabricação do cimento.

O uso de calcário com alto teor de MgO causa desvantagens na hidratação do cimento:



Isso provoca o aumento do volume e produz sais solúveis que enfraquecem o concreto quando exposto a lixiviação.

Argila - Segundo documento Lafarge Brasil (1998), as argilas são compostas por silicatos de metais alcalinos como sódio e potássio, e de alcalinos terrosos como cálcio e magnésio em particular os feldspatos e micas. A composição principal das

argilas é formada por hidro-silicatos de alumínio e ferro.

A escolha da argila envolve disponibilidade, distância, relação sílica/alumínio/ferro e elementos menores como álcalis.

A argila fornece os componentes Al_2O_3 , Fe_2O_3 e SiO_2 . Podendo ser utilizado bauxita, minério de ferro e areia para corrigir, respectivamente, os teores dos componentes necessários, porém são pouco empregados.

3.5 Fabricação de Cimento

De acordo com Gomides (1996), o processo de fabricação de cimento é um processo físico-químico de transformação de minerais naturais como calcário, argila, minério de ferro e areia em uma mistura de minerais sintéticos que possuem a capacidade de reagir com a água e desenvolver propriedades de resistência à compressão.

Para um melhor entendimento do processo, pode-se dividi-lo em 5 grandes etapas.

- Mineração;
- Moagem de cru;
- Clínquerização;
- Moagem de Cimento;
- Ensacamento e expedição.

3.5.1 Mineração ou Extração

Calcário de acordo com Ferreira (2000), mineração é um termo que abrange os processos, atividades e indústrias, cujo objetivo é a extração de substâncias minerais a partir de depósitos ou massas minerais.

O processo de extração de minerais ou matérias-primas naturais consideradas primárias, tais como: calcário calcítico, dolomítico e argila, é feito de jazidas ou minas que, na maioria dos casos são localizadas nas

proximidades da fábrica viabilizando as questões operacionais e de custos de produção.

Esta etapa do processo é de fundamental importância para o processo de fabricação do clínquer, pois nela é iniciado todo o processo de verificação das composições físicas e químicas das matérias-primas, com o um processo analítico do material em pontos a serem explorados. Após conhecer as composições, é feito um mapeamento geológico e um planejamento da lavra, viabilizando a exploração respeitando as questões ambientais, econômicas e o contexto da qualidade, pois uniformidade da composição da matéria-prima que será utilizada no processo seguinte é um fator preponderante para a qualidade do processo como um todo.

Após a extração, essas matérias-primas são transportadas para a fábrica e reduzidas de tamanho por britadores. para estocagem intermediária, homogeneização e posterior preparação.

A Figura 2 mostra uma mina de calcário a céu aberto.



FIGURA 2 – Mina de calcário
Fonte: Votorantin Cimentos, 2007

Argila - A extração da argila também passa por um processo semelhante ao do calcário, depois de conhecer a composição físico-química da argila, com um projeto de pesquisa feito através de sondagem para extração de amostras e análises qualitativas em laboratório a fim de mapear e planejar a exploração.

Conhecida a composição físico-química da argila, a extração começa pelo desmonte que é feito por máquinas, em seguida o material é transportado até a empresa onde acontece a redução do tamanho dos grãos através do britador e em fim a argila preparada é transportada por correias transportadoras para galpões de armazenagem.

A matéria-prima corretiva usada na indústria cimenteira tem como função, suprir o processo de elementos que não se encontram disponíveis nas matérias-primas principais, como exemplo, a areia complementando a deficiência no teor de Sílica, a bauxita utilizada para suprir deficiência de Alumina, e etc.

Como citado por Salomon (2002), materiais corretivos, tais como a bauxita, o minério de ferro e a sílica, podem ser necessários para adequar a composição química da mistura, de acordo com as necessidades do processo e com as especificações do produto. A quantidade desses materiais corretivos é pequena, comparada com o enorme fluxo de massa das matérias-primas principais.

3.5.2 Dosagem das Matérias-Primas

Segundo De Paula (2009), as matérias-primas, calcário, argila, areia e minério de ferro, coque de petróleo e bauxita, são armazenados separadamente em barracões equipados com balanças dosadoras na base. Os técnicos analisam as matérias-primas e calculam as dosagens, com base em parâmetros químicos pré-estabelecidos (módulos químicos), que dependem das características de composição apresentada pelas matérias-primas estocadas. A dosagem de cada matéria-prima é feita por meio das balanças dosadoras automatizada, controladas pelo painel central.

3.5.3 Moagem da Mistura

Após a dosagem as matérias-primas são transportadas ao moinho vertical pendular, onde são misturadas e moídas. Nesta fase inicial a mistura das matérias-primas é ao mesmo tempo sua pulverização, de modo a reduzir o tamanho das partículas a 0,05 mm em média, formando grânulos muito finos denominados de farinha ou cru. Quanto mais finos estiverem os grânulos, mais fáceis se tornam as reações químicas entre seus componentes. De hora em hora são coletadas amostras da farinha para controle de suas características físico-químicas.

Segundo estudos da ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - (1984) relatam que a mistura crua devidamente dosada e com finura adequada, deve ter a sua homogeneização assegurada para permitir, na clínquerização, uma perfeita combinação dos elementos formadores dos componentes de clínquer.

De acordo com ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland - (1984), são necessários aproximadamente 1,55 kg de farinha (cru) para produzir 1kg de clínquer.

3.5.4 - Pré-aquecimento e Pré-calcinação

Segundo De Paula (2009), farinha crua em forma pulverizada é conduzida à torre de ciclones, onde num trajeto descendente vai sendo pré-aquecida gradativamente pelos gases quentes que saem do forno em torno 1000 °C e se deslocam nas torres no sentido ascendente em contracorrente com a farinha crua. Nesta fase são iniciadas as reações químicas, onde as partículas da farinha alcançam a temperatura de início da pré-calcinação do carbonato de cálcio, por volta de 800°C, nesta fase a calcinação pode alcançar até 50 %, e em seguida a farinha passa pelo pré-calcinador que é um reator onde grandes quantidades da energia térmica são produzidas pela combustão de combustíveis secundários, que atingem temperaturas moderadas na ordem

de 800°C a 1100°C. Neste estágio aproximadamente 60% da quantidade total de combustível usado na produção do clínquer pode ser queimado para liberar 90 % do dióxido de carbono presente na mistura crua e aumentar o grau de calcinação em até 95% antes de entrar no forno rotativo. O ar terciário para combustão no calcinador é retirado do resfriador de clínquer através de uma tubulação externa ao forno, que é misturado com os gases do forno rotativo na entrada do calcinador, antes de ser usado na combustão.

De acordo com Kwech (1986), a reação de calcinação do carbonato de cálcio é fortemente endotérmica e consome cerca de 60 % do calor fornecido ao processo em uma faixa de temperatura pequena e aproximadamente constante.

Segundo Garrett (1985), o aquecimento e a calcinação total do carbonato de cálcio consomem cerca de 95% do calor teórico das reações químicas (o valor teórico é 1700 MJ/t de clínquer), e as reações restantes para completar a clínquerização, consomem 5% do total.

3.5.5 O processo de queima do clínquer

De acordo com De Paula (2009), a clínquerização é o processo que ocorre dentro do forno rotativo onde se dá a transformação das matérias-primas em clínquer. O clínquer é um produto sintético resultante do tratamento térmico das matérias-primas até a fusão parcial, e posterior a reação química entre seus óxidos. O clínquer é constituído basicamente pelos silicatos alita (C_3S) e belita (C_2S), em torno de 75% e em menor quantidade por aluminato tricálcico (C_3A) e ferro aluminato tetracálcico (C_4AF). Vale lembrar que a alita é o componente principal do clínquer, por ser o principal responsável pela resistência dos concretos aos 28 dias.

A transformação do cru em clínquer compreende etapas de troca de calor entre dois fluxos, sendo um fluxo de material e um fluxo gasoso. A troca de calor se efetua em contra corrente e o material é aquecido por convecção ao contato com os gases.

De acordo com documento Lafarge Brasil, Cecil (2003), a cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃) e o óxido de ferro (Fe₂O₃). Uma pequena porcentagem de magnésio (MgO), anidrido sulfúrico (SO₃), óxido de titânio (TiO₂) e ainda substâncias de menores como óxido de sódio (Na₂O), óxido de potássio (K₂O) – denominados álcalis - . Todas estas substâncias são obtidas das matérias-primas, mas algumas são resultantes da incorporação de cinzas provenientes dos combustíveis. Tais constituintes relacionados finamente pulverizados e homogeneizados compõem o cru ou farinha que são submetidos a ação do calor no interior do forno rotativo a temperatura de fusão incipiente, que resulta na obtenção de clínquer.

Segundo Alsop (2005), a alimentação do forno é sujeita a sucessivas reações com incremento de temperatura, que são:

- Temperatura em torno de 100°C - Ocorre a evaporação da água livre num processo denominado de secagem;
- Temperatura acima de 500°C - Ocorre a desidratação da água combinada da argila num processo denominado de preaquecimento;
- Temperatura acima de 900°C - acontece a reação de calcinação e início de reações entre CaO e Al₂O₃, Fe₂O₃ e SiO₂.

A calcinação ocorre de acordo com a reação química: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$.

- Temperatura acima de 1200°C ocorre a formação de fase líquida;
- Temperatura acima de 1280°C acontece a reações de formação dos minerais do clínquer e a completa reação do CaO com C₂S obtendo o C₃S. Sendo denominado como reação de clínquerização.

Resfriamento do clínquer – De acordo com ABCP 1996 este processo é importante para o término da reação química do clínquer. Ao sair do forno com temperatura de aproximadamente 1100 °C, o clínquer passa por um resfriador

onde é resfriado bruscamente para aproximadamente 90 °C. É nesta fase que acontece a estabilidade, a decomposição dos cristais de alita, a formação da belita secundária, o conteúdo de cal livre secundária e a formação do aluminato cálcico, sendo que estes dois últimos componentes condicionam os fenômenos de expansão no cimento.

Conforme De Paula (2009), os resfriadores de clínquer são trocadores de calor responsáveis para o resfriamento e recuperação parcial da entalpia contida no clínquer, ao sair do forno. A recuperação desta entalpia melhora a eficiência térmica do sistema reduzindo o consumo de energia. Um bom resfriador deve ter uma eficiência térmica acima de 70%, isto pode ser conseguido reduzindo a vazão de ar de resfriamento, a fim de que a temperatura do ar secundário e terciário seja a maior possível. O ar quente resultante da troca de calor é utilizado para ar secundário de combustão, ar terciário no pré-calcinador e na secagem das matérias-primas. O clínquer pré-resfriado é transportado pneumáticamente para um galpão, onde ocorre o resfriamento final. Antes da estocagem, são realizados ensaios químicos e físicos no laboratório de controle de qualidade. No laboratório as amostras de clínquer são avaliadas quanto a:

- Fator de saturação: Sua aprovação garante a reatividade do cimento.
- Cal livre CaO: Se estiver alto, o cimento ficará hidratado, podendo expandir e não conseguir alcançar a resistência estabelecida por normas.
- Microscopia: Analisa se as moléculas se agruparam de forma correta após a queima e resfriamento.

3.5.6 - Adições Ativas

De acordo com De Paula (2009) as adições ativas são outras matérias-primas com características aglomerantes que misturadas ao clínquer na fase

de moagem, juntamente com o gesso compõem, os diversos tipos de Cimento Portland. O gesso age como regulador de início do tempo de pega, e não pode, em nenhuma hipótese, deixar de participar da mistura que compõe o Cimento Portland. Os materiais aglomerantes mais utilizados na produção dos Cimentos Portland compostos são:

- Escórias de alto-forno - É um subproduto da indústria siderúrgica e se assemelha aos grãos de areia grossa.
- Pozolânicos - São rochas de origem vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizados.
- Fíller calcário – Calcário, materiais finamente moído.
- Argilas calcinadas - Certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas, entre 550 °C a 900 °C.
- Cinzas de carvão mineral - Cinzas derivadas da queima de carvão mineral nas usinas, principalmente nas termelétricas.
- Cinzas de casca de arroz - Cinzas resultantes da queima de cascas de arroz.

O clínquer, o gesso e as outras adições são armazenados separadamente antes de entrarem no moinho de cimento.

3.5.7 A moagem do cimento Portland

Segundo documento Lafarge Brasil (1998), o processo de fabricação do cimento é caracterizado por um processo de moagem das matérias-primas que compõem o cimento portland.

Seguindo uma seqüência lógica do processo de fabricação do cimento Portland, o início se dá ao conhecer todas as características, propriedades, as matérias-primas que compõem o cimento Portland e os itens que certificam a qualidade. A partir daí o processo de fabricação do cimento é definido como um processo de moagem que utilizam sistemas de moinhos tubulares chamados de moinhos de bolas, que tem seu interior revestido por placas protetoras e classificadoras confeccionadas por aço resistente a impacto e o contendo corpos moedores (bolas) de vários tamanhos.

Segundo documento Lafarge Brasil (1998), no moinho de bolas, o processo de moagem é uma combinação entre o impacto dos corpos moedores contra as partículas a serem moídas, isto acontece na primeira câmara, e a fricção quando o material é exposto ao movimento relativo entre dois corpos moedores. O atrito e a fricção entre os elementos são causados pelo movimento rotacional do sistema, tal processo reduz o tamanho das matérias-primas que compõem o cimento em partículas finas e homogêneas. A moagem do cimento ocorre em um circuito fechado, onde balanças dosadoras são usadas para mensurar a quantidade de matérias-primas que irão compor um determinado tipo de cimento, isto é definido por um sistema automatizado baseado em tabelas de proporções e limites estabelecidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) que é baseada em itens de qualidade.

3.5.8 – Expedição

Conforme De Paula (2009), o cimento pode ser fornecido a granel ou em sacos de 50 kg. O ensacamento é feito em máquinas automáticas, que enchem os sacos e os liberam assim que atingem o peso de 50 kg. O carregamento também é automatizado, otimizando a expedição. A embalagem é feita em papel “Kraft” de múltiplas folhas, para proteger o cimento da umidade e do manuseio no transporte, cada embalagem recebe data e hora de expedição.

O setor de granel é automatizado e pode atender simultaneamente vários caminhões.

4 – METODOLOGIA

Este trabalho foi conduzido de forma a obter informações através da pesquisa participativa, com foco em leituras de documentações, relatórios das áreas pertinentes ao trabalho e um estudo dos controles que já são realizados durante processo produtivo.

As informações obtidas foram dispostas em comparação com o referencial bibliográfico, que foi colhido através de livros, dissertação de mestrados, trabalhos disponibilizados na Internet e sites confiáveis. O foco do trabalho está objetivamente direcionado para processo produtivo de cimento Portland, sendo realizado de acordo com as seguintes etapas: Pesquisa sobre a história, as características, as propriedades, a qualidade e o processo de fabricação do cimento Portland. E como objeto principal de estudo, a análise de melhoria no processo produtivo de clínquer.

4.1 Tipo de Pesquisa

Segundo Gil (2002), a pesquisa é um procedimento lógico que tem como objetivo obter resposta a um determinado problema ou efetuar a ordem de informações, para que este possa obter a resposta, mediante aos conhecimentos científicos e técnicas de aplicação que envolve várias fases ao longo de seu processo de realização. Estas fases vão desde a formulação do problema até forma de apresentação dos resultados.

De acordo com Gil (2002), a pesquisa documental assemelha-se muito com a pesquisa bibliográfica, a diferença essencial entre ambas está na natureza das fontes de pesquisa. Na pesquisa documental, a fonte pesquisada se encontra em documentos, que estão dispersos em vários locais e que ainda não teve tratamento analítico. Estes não estão dispostos em bibliotecas e podem estar em, sindicatos, fotografias, memorandos, igrejas, ofícios e instituições privadas, sendo este último uma das fontes de pesquisa deste presente trabalho.

4.2 Objeto da Pesquisa

O estudo foi desenvolvido em uma empresa, situada na região centro-oeste do estado de Minas Gerais, do ramo Cimenteiro, como principal atividade a fabricação de cimento.

Como foi notado pelo autor deste trabalho, fica evidenciado a necessidade de melhorias no processo produtivo, pois é um sistema único atualmente no Brasil, em que se percebeu a possibilidade de se implantar melhorias no processo produtivo. Com base nessa melhoria realizada, o autor mostrará ao longo deste trabalho, como a empresa se beneficiou com a implantação dessas melhorias no processo produtivo.

4.3 Coleta de Dados

Para obter dados qualitativos, a coleta dos dados foi realizada diretamente no banco de dados da empresa. Dados estes disponibilizado pela empresa, através de documentos internos e relatórios considerados primários.

4.4 Interpretação dos Dados

Para realizar a interpretação dos dados, será feito uma avaliação com base no referencial teórico e pesquisa participante, que a relação entre o processo produtivo antes e após a melhoria implantada. Utilizarão ferramentas como Microsoft Word e Microsoft Excel 2003, onde serão elaborados gráficos com o intuito de esclarecer os resultados da pesquisa, facilitando a compreensão e interpretação dos dados.

5 ANÁLISE E RESULTADOS

Para iniciar as análises de uma possível melhoria a ser criada no processo produtivo, foram adotadas algumas ferramentas de grande importância tais como: boletins gerenciais, gráficos. O uso dessas ferramentas auxiliou na identificação das principais perdas do processo produtivo da empresa. Neste tópico é abordado os resultados obtidos pelas pesquisas realizadas na Indústria Cimenteira, localizada no centro-oeste-MG

5.1 Processo Produtivo Forno Vertical de Clínquer

O processo de calcinação teve seu início no forno vertical de Joseph Aspdin em 1824, figura 3, e veio evoluindo até que teve sua interrupção com o lançamento do primeiro forno rotativo de F. Ransomer, na feira mundial de Nova Iorque em 1899. Por muitos anos o forno vertical foi abandonado, sendo retomado na década de 1950 e mais recentemente pelos países Asiáticos.

Quando o material cru passa através do forno ele é seco, aquecido, calcinado e sintetizado para produzir o clínquer. O clínquer é então resfriado e descarregado do forno por meio de grelhas rotativas no seu fundo e sua vazão é controlada por uma válvula tripla.

O ar de combustão do forno é suprido por sopradores Roots de deslocamento positivo, que também servem para resfriar o clínquer e pré aquecer o ar de combustão.

Abaixo modelo esquemático do forno vertical CRI-MVSK (CRI- Modern Vertical Shaft Kiln).

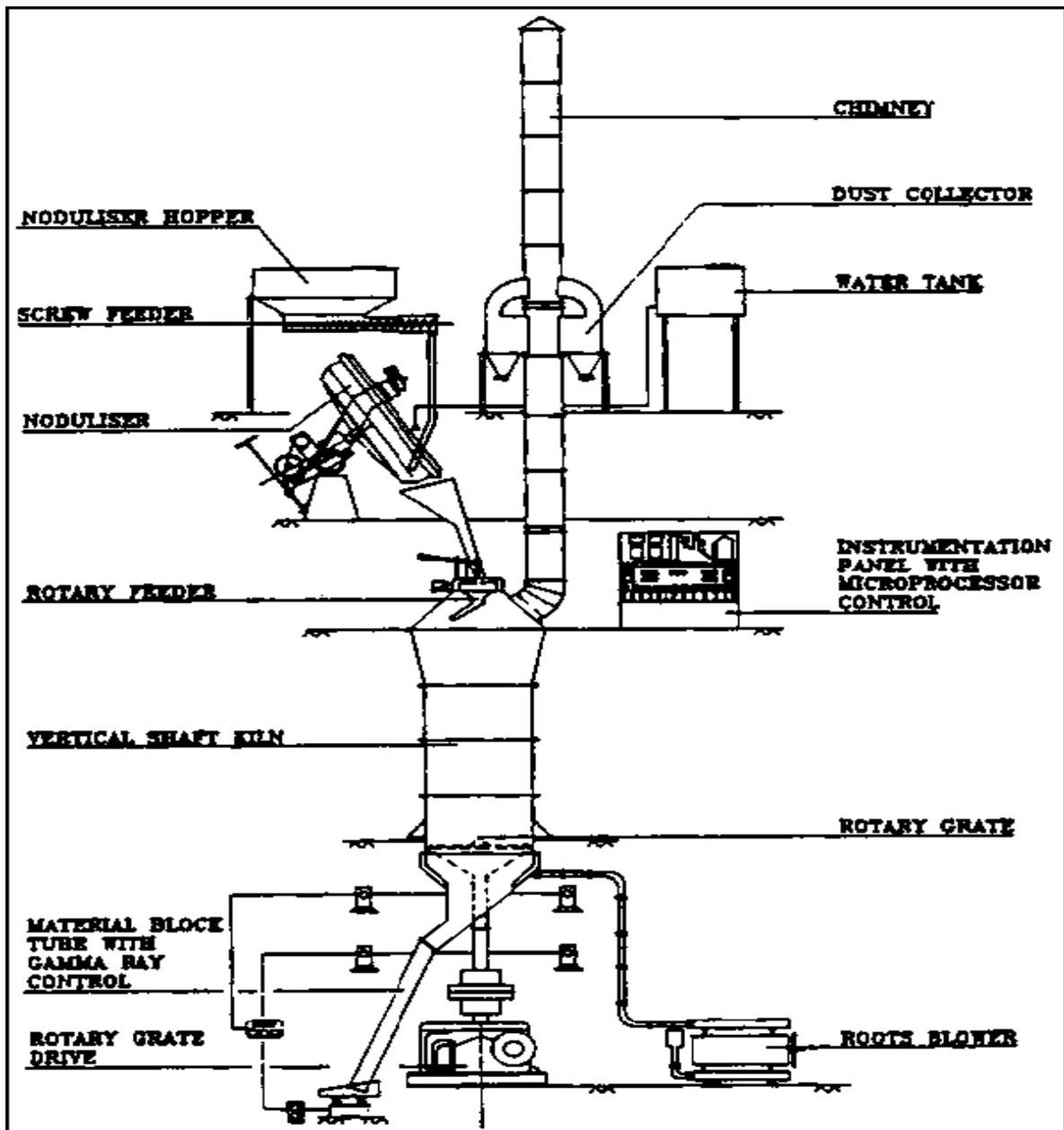


FIGURA 4 – CRI- MVSK –(Modern Vertical-Shaft Kiln)

Fonte: Empresa X

5.2 Nodolização

A farinha crua pulverizada que alimenta o forno deve ser nodolizada antes de ir para o forno. Uma panela inclinada do tipo mesa nodolizadora é ajustada para produzir os nódulos nos tamanhos e qualidade necessários. O operador ajusta os parâmetros para obter uniformidade e dureza suficiente. O operador deve ter certeza que a taxa de alimentação de farinha crua à mesa seja constante e uniforme. Qualquer variação na quantidade alimentada à mesa irá introduzir variação no tamanho e dureza dos nódulos produzidos. A quantidade de água alimentada no tambor também deve ser uniforme e não deve variar enquanto o mesmo está operando. Uma vez fixado a taxa de alimentação de farinha e água estas não devem variar. A dureza dos nódulos deve ser testada pelo operador deixando cair de 2 metros de altura sem que se quebrem ou esmigalhem. O operador deve manter os raspadores limpos e visíveis o fundo da mesa, para que façam sua função de rolamento. Os nódulos devem ser suficientemente porosos para que a umidade e o dióxido de carbono possa facilmente sair sem causar pressão interna e romper os nódulos por rachando. Como o processo de queima é dependente do comportamento dos nódulos na zona previa a sinterização, a correta seleção da forma de produzir os mesmos é de suma importância.

5.3 Interrupções no Funcionamento do Nodolizador

Foi observado pelo autor que durante o processo de fabricação, havia muita interrupção no funcionamento de alguns equipamentos que se chamam nodolizador, em que freqüentemente, era necessário acionar e desacionar o equipamento com isso o consumo de energia era maior.

5.4 Instabilidade no Processo de Nodolização

Foi observado pelo autor que durante o processo de fabricação, havia muita irregularidade na produção dos nódulos produzidos pelo nodolizador, devido a grande frequência de parada do equipamento, em que quando se acionava o equipamento, o material demorava aproximadamente 1 minuto para atingir sua estabilidade no processo e ser produzido de acordo com as especificações necessárias.

5.5 Redução de Mão de Obra

Foi observado pelo autor que durante o processo de fabricação dos nódulos a serem queimados pelo forno, em cada para do nodolizador, havia mão de obra ociosa, aguardando o funcionamento do mesmo para voltar a sua rotina.

5.6 Controle Ambiental Filtro de Manga

A empresa analisada procurou adaptar o funcionamento dos seus fornos, de acordo com as exigências de controle ambiental no país, então foi criado filtros de manga para filtrar o particulado gerado pela queima do material, em que esses filtros trabalham em conjunto a temperatura dos fornos e a temperatura dos fornos trabalham em conjunto com o funcionamento dos nodolizadores, em que durante os diversos liga/desliga dos nodolizadores, acontece uma grande variação nas temperaturas dos filtros de manga, prejudicando assim um funcionamento eficaz dos mesmos.

5.7 Controle Temperatura Filtros

A empresa X analisada conta com 4 fornos verticais CRI-MVSK (CRI-Modern Vertical Shaft Kiln), onde em seu quadro de funcionários para o funcionamento desses fornos, conta com 3 forneiros para operar os 4 fornos, e 4 operadores de nodolizador em que cada operador monitora 1 nodolizador.

A empresa analisada procurou adaptar o funcionamento do que equipamento, de acordo com as exigências de controle ambiental no país, já que nos países asiáticos onde existe um maior funcionamento deste tipo de forno, ainda não existe uma fiscalização mais rígida em termos de controle ambiental.

Então foi adaptado um filtro de manga para cada forno, para filtrar o particulado gerado na transformação da farinha negra em clínquer. Este controle é monitorado durante o funcionamento dos fornos, pois existe um controle a ser realizado pelo operador do forno, que consiste em manter a temperatura dos filtros de manga entre 90° a 145°C, onde se a temperatura for abaixo de 90° foi observado ao longo de testes realizados, que a manga satura muito rápido e se a temperatura for acima de 145° C, acontece o cozimento destas mangas e novamente eleva o custo de manutenção dos filtros, pois deverá ser trocada rapidamente essa manga.

Diante dessa adaptação ao processo produtivo, o controle dessas temperaturas, funcionam de acordo com a alimentação do forno em que quando se alimenta o forno, a temperatura dos filtros, começa a diminuir gradativamente, pois os nódulos que estão entrando no forno contem umidade, e quando corta-se a alimentação do forno, a temperatura começa a aumentar, pois começa haver a reação de queima. O controle de temperatura dos filtros dos fornos são monitorados através de termopares instalados na entrada dos filtros e emitidos através de painéis elétricos instalados na sala de controle dos fornos, para a visualização e monitoramento dos forneiros, em que ao visualizar que a temperatura esta se aproximando de 90°C, é acionado um sinal sonoro, para que o operador de nodolizador corte a alimentação e pare de jogar material para dentro do forno, e quando a temperatura está se

aproximando de 145°C o operador de forno aciona o sinal sonoro, para que o operador de nodolizador funcione o equipamento e volte a alimentar o forno.

O processo de funcionamento dos fornos é semi automatizado, e o funcionamento do mesmo, dependente muito dos operadores.

Diante das adequações da empresa estudada, em relação aos controles ambientais, que necessitaram da implantação de filtros de mangas, para o funcionamento legal dos fornos, foi observado pelo autor que melhorias poderiam ser aplicadas no processo de produção, para redução de custos e estabilidade no processo.

Foi sugerido primeiramente que todos os controles das temperaturas dos filtros de mangas fossem monitorados, tanto pelos operadores de forno, quanto pelos operadores de nodolizador, enfim foi colocado um painel secundário de visualização de temperatura dos filtros no setor do nodolizador, em que possibilitou a visualização das temperaturas dos filtros de mangas, pelos próprios operadores de nodolizador. Com essas modificações foram possíveis visualizar as seguintes melhorias:

- Eliminação dos sinais sonoros que eram enviados anteriormente pelos forneiros para avisar que deveriam ligar ou desligar a alimentação do nodolizador.
- Outra melhoria foi que com a visualização das temperaturas é possível o controle efetivo da quantidade de alimentação do forno.
- Houve uma grande regularidade no funcionamento dos nodolizadores.
- Com a frequência estabilizada de alimentação dos fornos, o desgaste gerado pelo acionamento / desacionamento do nodolizador é menor, aumentando assim a vida útil do equipamento.
- Redução no consumo energético dos equipamentos.

- Redução no quadro efetivo de funcionários da função específica nodolizador em 25%.

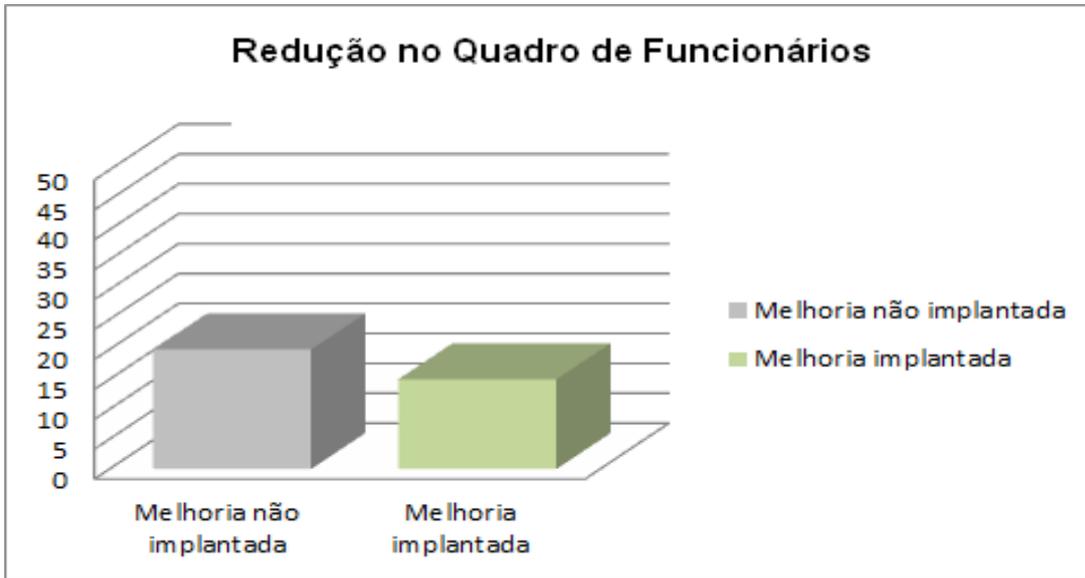


Gráfico 1: Redução no quadro de Funcionários

Fonte: Dados de pesquisa

- Com a temperatura estabilizada nos limites aceitáveis, e o funcionamento com maior frequência dos nodolizadores, possibilitam uma maior qualidade na fabricação dos nódulos, no que resulta em uma maior qualidade na reação de queima, onde acontece a transformação da farinha negra em clínquer. O gráfico 2 demonstra nitidamente como era a variação de temperatura antes da melhoria.

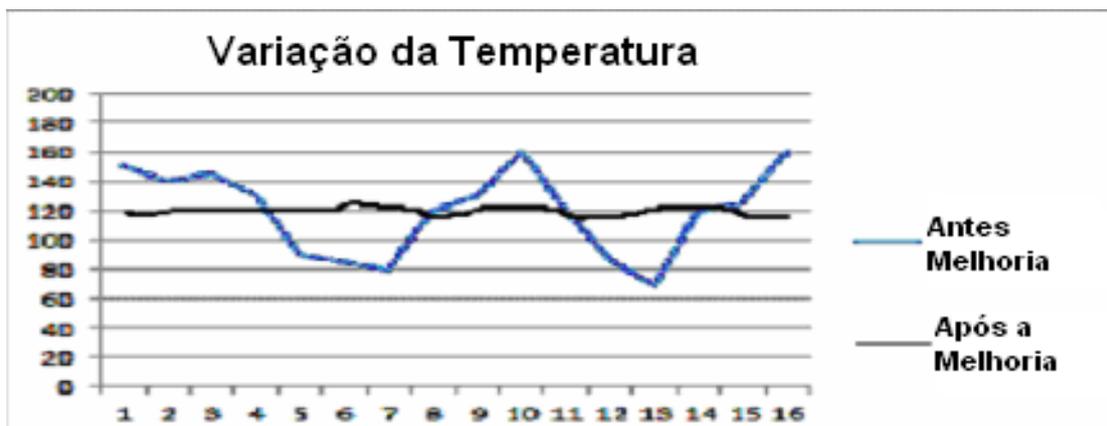


Gráfico 2: Variação da temperatura

Fonte: Dados de pesquisa

- Com uma melhor qualidade na formação dos nódulos, houve uma maior regularidade nas reações de queima do forno, aumentando assim sua produtividade.

6 CONCLUSÃO

A indústria cimenteira vem acumulando ao longo de sua história, vastos conhecimentos experimentais, cuja evolução é base do atual controle de qualidade de fabricação do cimento. Tais investimentos de microempresários, como o da empresa estudada em apostar em um sistema de forno vertical de clínquer atualmente único no Brasil, com um preço muito abaixo comparado com os fornos convencionais rotativos, podem ser um sucesso, desde que a empresa invista no seu capital humano e em melhoria contínua dos seus processos.

O presente trabalho demonstrou que pequenas melhorias implantadas dentro de um setor produtivo podem trazer inúmeros benefícios para a organização, onde neste caso, se obteve ganho real em economia de energia, melhor qualidade, redução de mão de obra e ganho em produtividade no processo produtivo de cimento. Colaborando de maneira importante para que a organização si mantenha cada vez mais competitiva no mercado e a cada dia mais motivada a otimizar seus processos produtivos, em busca de produzir mais, com maior qualidade e menor custo.

REFERÊNCIAS

ALSOP, Philip A - PhD. Cement Plant Operations Handbook – For Dry Process Plants. Fourth edition. January 2005. Trade ship Publications Ltda.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Curso de Microscopia de Clínquer de Cimento Portland. Departamento de Físico – Química da ABCP, São Paulo. Junho de 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Forno de cimento: solução a eliminação de resíduos industriais. São Paulo, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Guia básico de utilização do cimento Portland. São Paulo, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia Básico de utilização do cimento Portland. 5. ed. São Paulo, 1999. (BT-106).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Guia básico de utilização do cimento portland. 7.ed. São Paulo, 2002. (BT-106)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Procedimentos para análises químicas do cimento e suas matérias-primas. São Paulo, 2003.

BATTAGIN, Arnaldo Forti (2006). Uma breve história do cimento Portland.

Disponível em: www.cimento.org.br acesso 05 de marco de 2009.

CARPIO, RICARDO CARRASCO. Otimização no uso de co-processamento de resíduo na indústria do cimento, envolvendo custo, qualidade e impacto ambiental. Tese de doutorado, UNIFEI, Itajubá – MG, 2005.

DE PAULA L.G. Análise Termo econômica do Processo de Produção de Cimento Portland com Co-processamento de Misturas de Resíduos. 2009. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal Itajubá, Itajubá-MG, 2009.

EHRENBERG, A, GEISLER, J Carbon dioxide emissions with cement production. In: Iron and steel slags – properties and utilization. Duisburg: 2000. Artigo apresentado no International Symposium on the Utilization of Metallurgical Slag – ISUS'99, 1999, Beijing, China.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. 1910 – 1989. Mini-Aurélio Séc. XXI Escolar: O Minidicionário da Língua Portuguesa / Aurélio B. H. F. [et al.]. 4 ed. Rev. Ampliada – Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2000.

GARRETT, H. M. (1985), “Precalciners Today A Review”. Rock Products, July.

GIL, Antonio Carlos. Tipos de Pesquisa: Como elaborar um projeto de pesquisa. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMIDES, W. M. Processo de fabricação de cimento. Mato Grosso: Cimento Itaú, 1996.

KWECH, L. (1986), Precalcining in the Cement Industry. Zement-Kak-Gips, Nr 9.

LAFARGE BRASIL, CECIL. Curso Para o Ensino de Condução Informatizada Lafarge auto Treinamento e Consulta eletrônico. ARCOS, versão 2003.

LAFARGE BRASIL, Química do Cimento. Lafarge Cimento – Projeto Arcos WSO, 1998.

MARCIANO, Everaldo Júnior, Associação Brasileira de Cimento Portland. Considerações sobre Fabricação, Matérias-primas, Parâmetros Químicos e Mineralógicos. Out. 1991

MURPHY, J. N.; MAADOWCROFT, T. R. e BARR, P. V. Enhancement of the cementitious properties of steelmaking slag. Canadian Metallurgical Quarterly, 1997, v. 36, n.5,

NELSON, E.; GUILLOT, D. (Ed.). Well cementing. 2. ed. Sugar Lands: Schlumberger, 2006

ROSTIK, L. F. EAF steel company and the by-product synergy environment. In: REWAS'99 – GLOBAL SYMPOSIUM AND RECYCLING, WASTE TREATMENT AND CLEAN TECHNOLOGY, Vol. 2, 1999, San Sebastián, Spain. Anais. San Sebastián: Minerals, Metals & Materials Society e Fundación Inasmet, 1999

SALOMON, V. G. (2002), Avaliação dos Efeitos da Presença de Metais Pesados nos Resíduos Co-processados Quando Utilizados como Combustíveis Alternativos e Matéria-Prima na Indústria Cimenteira, Dissertação Mestrado, em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI.

SHI, C.; QIAN, J. High performance cementing materials from industrial slags – a review. Resources, Conservation & Recycling 29, 2000.

SILVA, R. J. (1994), Análise Energética de Plantas de Produção de Cimento Portland, Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP.

VERGARA, Sylvia Constante. Pesquisa Participante. Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração, 4ª ed. São Paulo, 2003.

VOTORANTIM CIMENTOS. Programa Trainee 2000: engenharia de processo. Rio Branco, 2000.