



FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE SERGIPE
Associação de Ensino e Pesquisa "Graccho Cardoso"
Coordenação do Curso de Engenharia de Produção

JOSÉ ADILSON C. ROCHA

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE CLÍNQUER
ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO –
CEP

Aracaju – SE
2006.1

JOSÉ ADILSON C. ROCHA

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE CLÍNQUER
ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO –
CEP

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia de Produção da Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. João Vicente
Santiago do Nascimento

Coordenador: Profa. MSC. Helenice Leite
Garcia

Aracaju – SE
2006.1

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE CLÍNQUER ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO – CEP

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE, como requisito parcial para cumprimento do Estágio Curricular e elemento obrigatório para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção, no período de 2006.1

Prof. Dr. João Vicente Santiago do Nascimento

Prof^a. Dr^a. Ana Eleonora A. Paixão

Prof. Paulo Baffa Júnior

Aprovado (a) com média: _____

Aracaju (SE), ____ de _____ de 2006.

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha esposa Ana e às nossas queridas filhas, Cristiana e Adriana, por se constituírem diferentemente enquanto pessoas, igualmente belas e admiráveis em essência, estímulos que me impulsionaram a buscar vida nova a cada dia, meus agradecimentos por terem aceitado se privar de minha companhia pelos estudos, concedendo a mim a oportunidade de me realizar ainda mais.

Agradecimentos

A DEUS, pela oportunidade e pelo privilégio que nos foram dados em compartilhar tamanha experiência no decorrer deste curso e no dia-a-dia de nossas vidas.

Ao nosso orientador, Prof. Dr. João Vicente Santiago do Nascimento, pelo incentivo, simpatia e presteza no auxílio às atividades e discussão sobre o andamento e normatização desta monografia de conclusão de curso.

Especialmente à Prof^a. Helenice Leite Garcia, pelo seu espírito inovador e empreendedor na tarefa de multiplicar seus conhecimentos, pela sua disciplina nos ensinando a importância do trabalho realizado.

A todos os professores, pela atenção, dedicação e entusiasmo demonstrado ao longo do curso.

Aos colegas de classe, principalmente ao Genilson, pela espontaneidade e alegria na troca de informações e materiais numa demonstração de amizade e solidariedade.

A minha querida irmã RAMIRA, que sempre me incentivou aos estudos, e especialmente por não ter medido esforços para garantir a concretização deste meu objetivo.

E, finalmente, a toda minha família pela paciência em tolerar a minha ausência durante o decorrer do curso.

"A educação tem raízes amargas, mas os frutos são doces". Aristóteles (D.L. 5, 18).

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
1. INTRODUÇÃO	12
1.1 - Caracterização da Empresa	13
1.2 - Objetivos.....	13
1.2.1- Objetivo Geral.....	13
1.2.2- Objetivos Específicos	13
1.3 - Justificativa	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1- Processo	15
2.2- Clinquerização.....	16
2.3 - Fluxograma do Processo	18
2.3.1 - Jazida de calcário / mina	18
2.3.2 - Britagem de calcário	19
2.3.3 - Pré-homogeneização	20
2.3.4 - Moagem de cru	20
2.3.5 - Silo de homogeneização de farinha	21
2.3.6 - Torre de ciclones / pré-aquecedores.....	22
2.3.7 - Forno rotativo	23
2.3.8 - Resfriador de clínquer	24
2.3.9 - Silo de rejeito.....	24
2.3.10 - Silo de clínquer.....	25
2.3.11 - Silo de gesso e outros aditivos.....	25
2.3.12 - Moagem de cimento.....	26
2.3.13 - Expedição	26
2.4 - Controle Estatístico do Processo (CEP)	27
2.4.1- Variabilidade.....	29
2.4.2 - Capacidade do processo	31
2.4.3 - Índices de capacidade	32
2.4.4 - Cartas de controle.....	34
2.4.4.1 - Etapas para a construção das cartas de controle	35
3 - METODOLOGIA	40
4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
4.1 - Análises das Variáveis Críticas do Processo	42
4.1.1 - Fator de Saturação (FSC)	42
4.1.2 - Módulo de Sílica (MS)	45
4.1.4 - Peso Litro (PS).....	51
4.1.5 - Cal Livre (CaO Livre).....	53
5. CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caracterização de um Processo (WERKEMA, 1995)	15
Figura 2 - Pilha de Clínquer.....	17
Figura 3 - Fluxograma do Processo de Fabricação de Clínquer (Fonte:CIMESA)	18
Figura 4 - Mina de Calcário (Fonte: CIMESA, 2005)	19
Figura 5 - Britador de Calcário (Fonte: CIMESA, 1998)	19
Figura 6 - Retomadora de Calcário (Fonte: CIMESA, 2005)	20
Figura 7 - Moagem de Cru (Fonte: CIMESA, 2005)	21
Figura 8 - Silo de Homogeneização de Farinha (Fonte: CIMESA, 2005)	21
Figura 9 - Torre de Ciclones (Fonte: CIMESA, 2003).....	22
Figura 10 - Forno Rotativo (Fonte: CIMESA, 2003)	23
Figura 11 - Resfriador Folax de clínquer (Fonte: CIMESA, 1998)	24
Figura 12 - Silos de Clinquer e Transportadores (Fonte:CIMESA, 2005).....	25
Figura 13 - Silos de Aditivos (Fonte: CIMESA, 2005).....	25
Figura 14 - Moinho de Cimento (CIMESA, 2005)	26
Figura 15 - Relação entre a distribuição normal e os gráficos de controle	31
Figura 16 - Percentual de Produção de Clinquer Não-Conforme (Fonte: CIMESA, 2005).....	35
Figura 17 - Carta de Controle com Processo sob Controle (CANASSA, 2000).....	37
Figura 18 - Pontos Fora dos Limites de Controle (CANASSA, 2000).....	38
Figura 19 - Periodicidade (CANASSA, 2000).....	38
Figura 20 - Seqüência (CANASSA, 2000).....	39
Figura 21 - Tendência (CANASSA, 2000).....	39
Figura 22 - Fator de Saturação da Farinha - A (Fonte: CIMESA, 2005).....	43
Figura 23 - Fator de Saturação da Farinha - B (Fonte: CIMESA, 2005).....	44
Figura 24 - Fator de Saturação da Farinha - C (Fonte: CIMESA, 2005).....	44
Figura 25 - Módulo de Sílica da Farinha - B (Fonte:CIMESA, 2005).....	46
Figura 26 - Módulo de Sílica da Farinha - B (Fonte:CIMESA, 2005).....	47
Figura 27 - Módulo de Sílica da Farinha - C (Fonte: CIMESA, 2005).....	47
Figura 28 - Módulo de Sílica da Farinha - C (Fonte: CIMESA, 2005).....	49
Figura 29 - Módulo de Alumínio da Farinha - B (Fonte: CIMESA, 2005).....	50
Figura 30 - Módulo de Alumínio da Farinha - C (Fonte: CIMESA, 2005)	50
Figura 31 - Peso Litro do Clínquer - A (Fonte: CIMESA, 2005).....	52
Figura 32 - Peso Litro do Clínquer - B (Fonte:CIMESA, 2005).....	52
Figura 33 - Peso Litro do Clínquer - C (Fonte: CIMESA, 2005).....	53
Figura 34 - Cal Livre do Clínquer - A (Fonte: CIMESA, 2005).....	54
Figura 35 - Cal Livre do Clínquer - B (Fonte: CIMESA, 2005).....	55
Figura 36 - Cal Livre do Clínquer - C (Fonte: CIMESA, 2005).....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Fator de Saturação - FSC (Fonte: Laboratório CIMESA, 2005)	43
Tabela 2 – Módulo de Sílica - MS (Fonte: laboratório CIMESA, 2005)	46
Tabela 3 – Módulo de Alumínio - MA (Fonte: Laboratório CIMESA, 2005)	49
Tabela 4 - Peso Litro - PS (Fonte: Laboratório CIMESA, 2005)	51
Tabela 5 – Cal Livre - CaO Livre (Fonte: Laboratório CIMESA, 2005).....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ocorrências para FSC fora da faixa	45
Quadro 2 - Ocorrências para o MA fora da faixa	48

RESUMO

Cada vez mais se observa a necessidade de melhorar continuamente os processos, objetivando-se a redução de custos e o aumento de produtividade, em qualquer que seja a área de atuação. O presente trabalho mostra a importância do controle da variabilidade de um processo produtivo em uma indústria de fabricação de cimento.

Sabe-se que num mundo globalizado, a característica fundamental de uma empresa é a capacidade de efetuar com sucesso a medição de seu desempenho e a qualidade de seu processo produtivo, pois a variabilidade é inerente a qualquer processo produtivo.

A ferramenta de Controle Estatístico do Processo – CEP, através das cartas de controle, foi utilizada para o monitoramento das principais variáveis críticas do processo de fabricação de clínquer, a matéria-prima essencial e indispensável na fabricação do cimento Portland.

Através dos dados colhidos e analisados detalhadamente, verificou-se de fato a eficiência das cartas de controle, as quais, quando utilizadas e interpretadas adequadamente, trazem resultados significativos para a empresa, como maior controle do processo, melhor qualidade do produto, menor custo, tornando-a mais competitiva, garantindo a sua sustentabilidade no mercado.

Palavras-Chave: Clínquer, Otimização, Processo, Variabilidade e Cartas de Controle.

1. INTRODUÇÃO

O cenário competitivo atual exige que a qualidade dos produtos e serviços, combinados ao menor preço possível, sejam condições imprescindíveis para a sobrevivência das organizações, de tal forma exigindo a necessidade de uma melhoria contínua nos processos produtivos, objetivando a redução dos custos e o ganho de produtividade. Desta forma, a utilização do Controle Estatístico do Processo (CEP), tem-se mostrado uma ferramenta efetiva, pois se sabe que em qualquer processo de produção, independente de quão bem projetado ou cuidadosamente mantido este seja, certa quantidade de variabilidade inerente ou natural sempre existirá. O CEP atuará como um método quantitativo para monitorar o processo, a fim de determinar se este está sendo executado adequadamente.

As Cartas de Controle estatístico são freqüentemente utilizadas para o monitoramento do desempenho dos processos produtivos. Por serem uma ferramenta simples e eficaz, possuem intensa utilização pelas indústrias, melhorando a qualidade intrínseca, a produtividade, a confiabilidade e o custo do que está sendo produzido.

Através das Cartas de Controle podemos observar o defeito na fonte, as suas causas, atuando de forma preventiva, combatendo o desperdício antes de sua ocorrência. Ela age diretamente no processo, evitando o possível defeito independente de onde ocorra, utilizando a Estatística como instrumento básico para organizar, fazendo uma análise das informações do processo, permitindo assim a avaliação da qualidade. O CEP consiste, sucintamente, num conjunto de técnicas, as quais a experimentação prática tem aprovado, e recomendado em qualquer situação no processo industrial.

1.1 - Caracterização da Empresa

A indústria Cimento Sergipe S/A – CIMESA, unidade localizada em Laranjeiras/SE, a 30 km de Aracaju, na fazenda Brandão, s/n possui um quadro de 253 funcionários, sendo uma das unidades da Votorantim Cimentos.

Seu objetivo é produzir e comercializar clínquer e cimento com alta qualidade, inclusive atualmente com foco centrado para a exportação. Sua capacidade de produção instalada é de 1,3 milhões toneladas/ano de cimento e que está em fase de ampliação, a qual aumentará esta capacidade para 2,5 milhões de toneladas de cimento/ano.

Suas marcas Poty e Aratu podem ser encontradas em sacos comuns de 25 kg e 50 kg (CPII F-32 e CPII Z-32), *big-bags* e a granel, além dos cimentos CP IV, cimento especial para poços – CPP e o cimento CP I, exclusivo para exportação.

1.2 - Objetivos

1.2.1- Objetivo Geral

O objetivo fundamental deste estudo é identificar os principais desvios no processo produtivo do clínquer por meio da identificação das diferentes fontes de variabilidade do processo.

1.2.2- Objetivos Específicos

- Viabilizar o aprimoramento contínuo da qualidade do clínquer produzido na Cimento Sergipe S/A – CIMESA;

- Verificar a importância das cartas de controle no processo produtivo de clínquer através de um estudo de caso.

1.3 - Justificativa

Uma das características fundamentais de uma empresa é a capacidade de efetuar com sucesso a medição de seu desempenho e a qualidade do seu processo produtivo. A utilização de uma ferramenta estatística, no caso específico o CEP, utilizado em várias indústrias, será a base para o desenvolvimento deste estudo de caso a ser analisado na Votorantim Cimentos, na unidade CIMESA, em Laranjeiras/SE, que atualmente está em fase de expansão para duplicação de sua capacidade de produção, com foco no mercado externo, o que exige maior otimização no seu processo produtivo.

Sendo assim, o presente trabalho utilizará as cartas de controle para o monitoramento das variáveis principais englobando o processo de fabricação de clínquer, tais como: Fator de Saturação (FSC), Módulo de Sílica (MS), Módulo de Alumínio (MA), Peso Litro e Cal Livre, na tentativa de minimizar as falhas inerentes do processo produtivo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1- Processo

Todo trabalho realizado em uma organização pode ser visto como um processo, ou seja, um conjunto de causas que têm como objetivo produzir um determinado efeito, o qual é denominado produto do processo (WERKEMA, 1995).

Um processo pode ser dividido em um conjunto de causas: insumos, equipamentos, informações do processo ou medidas, condições ambientais, pessoas e métodos ou procedimentos, como mostra a Figura 1.

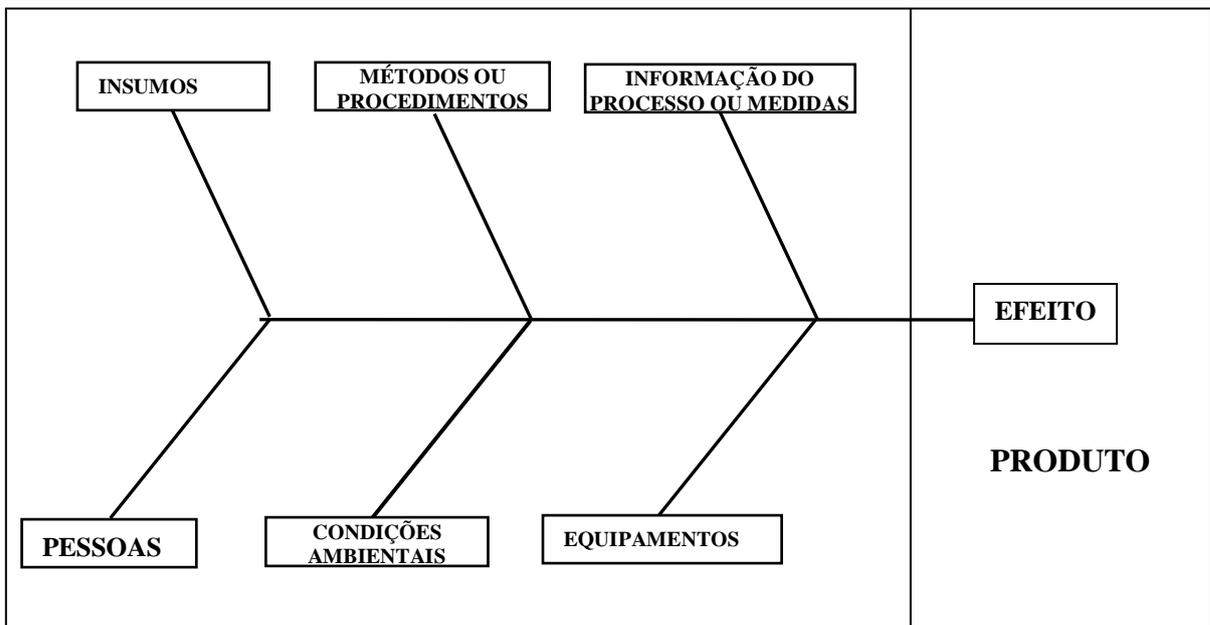


Figura 1 - Caracterização de um Processo (WERKEMA, 1995)

Um processo pode ser dividido em processos menores (subprocessos), sendo que esta divisibilidade é de fundamental importância para permitir que cada subprocesso seja controlado separadamente, facilitando a localização e a causa de prováveis problemas e a atuação nas causas destes, o que resulta na condução de um controle mais eficiente de todo o processo.

2.2- Clinquerização

O processo de clinquerização de cimento Portland compreende uma série de reações nas quais o conteúdo de minerais naturais da mistura crua é transformado em uma mistura de minerais sintéticos com as propriedades hidráulicas desejadas.

Os componentes crus (Calcário + Argila + Minério ou Escória) são moídos até atingir a granulometria de um pó fino denominado de farinha.

A farinha deve ser produzida dentro de critérios controlados de composição química e granulometria, a fim de possuir comportamento adequado dentro do forno e resultar em clínquer de ótima qualidade.

A farinha, antes de ser inserida diretamente no forno, passa pelo pré-aquecedor, sendo aquecida em contracorrente aos gases quentes de exaustão do forno, onde sua umidade residual se evapora. A partir de uma temperatura acima de 600°C inicia-se a decomposição do calcário, ($\text{CaCO}_3 + \text{Calor} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) que será completada a 900°C. A sinterização ou clinquerização começa a 1250°C, isto é, a fusão de CaO (óxido de cálcio) com os componentes SiO_2 , Al_2O_3 e óxido férrico (F_2O_3) para formar novos compostos. A reação total nesta faixa de temperatura é exotérmica, ou seja, libera calor de modo que a temperatura de queima sobe rapidamente para 1450°C - 1500°C, produzindo como resultado maior formação de líquidos e a sinterização acelerada.

O processo de cozimento exige uma atmosfera oxidante dentro do forno já que em caso contrário obtém-se um clínquer de cor parda ao invés da cor normal cinza e o cimento resultante apresenta uma resistência mais baixa.

O processo de clinquerização consiste fundamentalmente de duas fases principais: a desintegração dos componentes da mistura crua original e a formação de novos componentes. Na desintegração, que é fase inicial, processa-se a britagem

e moagem mecânicas das matérias primas, a decomposição térmica das mesmas e finalmente uma transposição estrutural por aquecimento. Durante o aquecimento da farinha crua, ocorrem importantes processos físico-químicos como a desidratação dos minerais argilosos e a decomposição dos carbonatos.

Na etapa de formação de novas estruturas minerais formam-se inicialmente produtos intermediários que são seguidos pela gênese e crescimento dos minerais finais do clínquer acompanhada pela cristalização da fase líquida. Nem todos os minerais hidraulicamente ativos do clínquer permanecem estáveis à temperatura normal e por isso o clínquer quente deve ser resfriado rapidamente.

Para que este processo ocorra de maneira adequada, a monitoração das principais variáveis críticas do processo se faz necessária, desde a alimentação da farinha no forno até sua transformação no produto final, ou seja, o clínquer.

As variáveis que influenciam diretamente na qualidade do produto gerado e que deverão estar sob controle estatístico são: na farinha alimentada, o Fator de Saturação (FSC), o Módulo de Sílica (MS) e o Módulo de Alumínio (MA); já para o Clínquer, além destas variáveis, se faz necessário o monitoramento do Peso Litro e da Cal Livre.

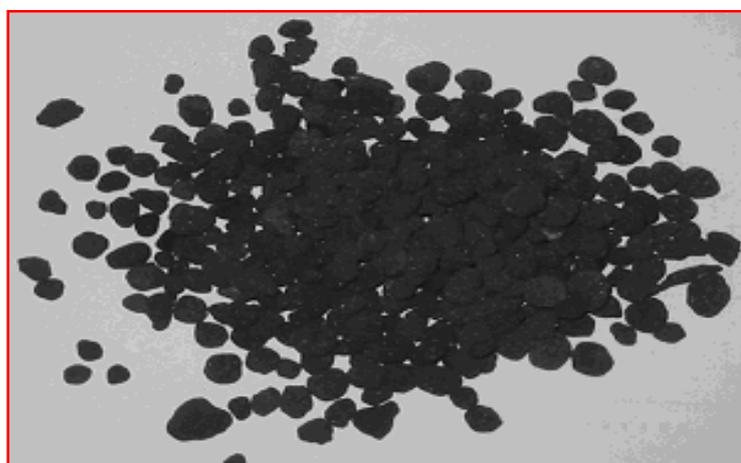


Figura 2 - Pilha de Clínquer

2.3 - Fluxograma do Processo

Deste modo, para uma melhor compreensão do processo produtivo de cimento apresenta-se o fluxograma, conforme a Figura 3.

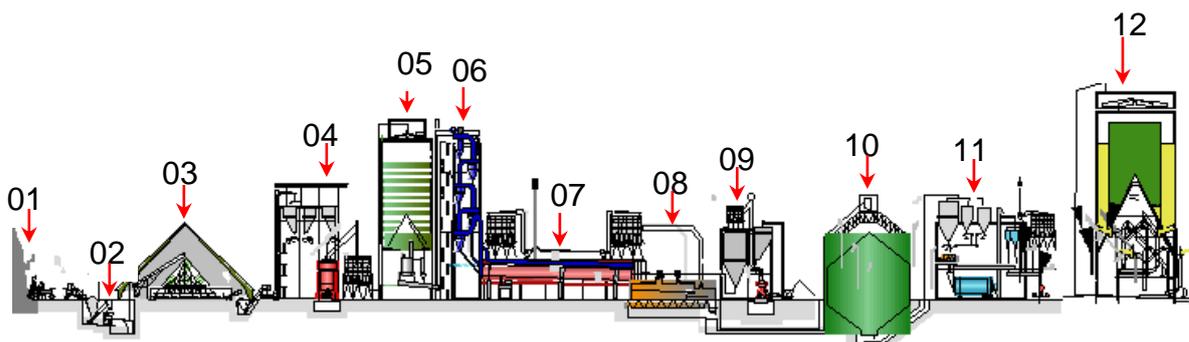


Figura 3 - Fluxograma do Processo de Fabricação de Clínquer (Fonte:CIMESA)

- 01-Jazida de Calcário / Mina
- 02-Britador de Calcário
- 03-Pré-Homogeneização / Empilhadeira / Retomadora
- 04-Moagem de Cru
- 05-Silo de Homogeneização de Farinha
- 06-Torre de Ciclones/Pré-Aquecedores
- 07-Forno Rotativo
- 08-Resfriador de Clínquer
- 09-Silo de Rejeito de Clínquer
- 10-Silo de Clínquer
- 11-Moagem de Cimento
- 12-Silo de Cimento / Ensacamento / Expedição

2.3.1 - Jazida de calcário / mina

O calcário é a principal matéria-prima para a fabricação do cimento. Sua extração pode ocorrer através de jazidas subterrâneas ou a céu aberto, situação mais comum no Brasil, conforme se verifica na Figura 4. Na etapa de extração utilizam-se explosivos para o desmonte da rocha. Outro componente extraído nesta etapa é a argila. Em ambos os casos, um plano de gerenciamento de exploração mineral é necessário para preservar o meio ambiente.



Figura 4 - Mina de Calcário (Fonte: CIMESA, 2005)

2.3.2 - Britagem de calcário

O calcário extraído é transportado em caminhões tipo fora-de-estrada até a instalação de britagem, (Figura 5) onde é reduzido a granulometrias adequadas ao processamento industrial. Este tratamento permite eliminar uma grande parte de impurezas presentes no calcário. A argila não precisa, necessariamente, ser britada devido a sua baixa dureza.



Figura 5 - Britador de Calcário (Fonte: CIMESA, 1998)

2.3.3 - Pré-homogeneização

O calcário e a argila são estocados separadamente em um galpão no qual um equipamento denominado retomadora se encarrega de misturar as cargas, a fim de assegurar uma pré-homogeneização (Figura 6). Nesta fase, as matérias-primas são submetidas a diversos ensaios físicos.

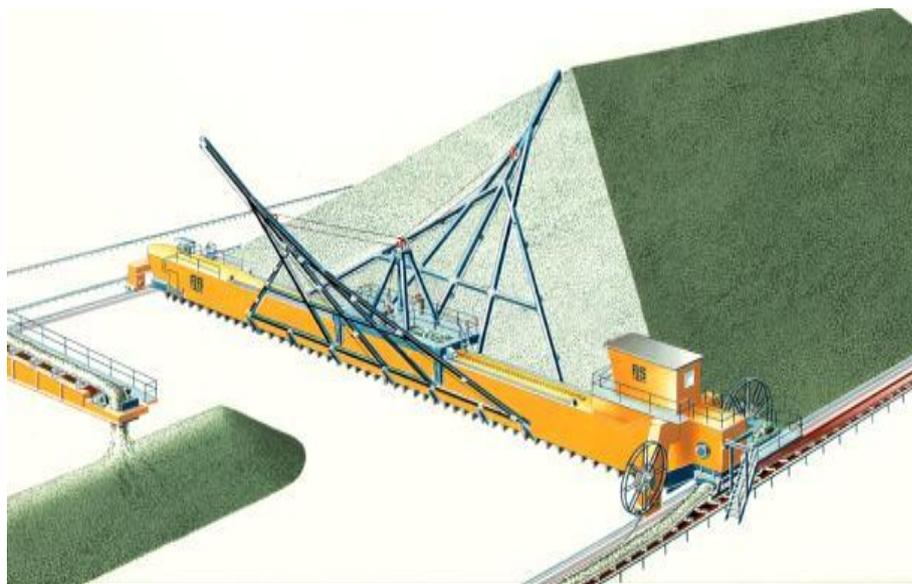


Figura 6 - Retomadora de Calcário (Fonte: CIMESA, 2005)

2.3.4 - Moagem de cru

O composto de calcário (90%) e argila (10%) é dosado para ser triturado no moinho de cru, Figura 7. Essa dosagem é efetuada com base em parâmetros químicos pré-estabelecidos, os chamados módulos químicos, que dependem das características composicionais dos materiais estocados sendo controlados por balanças dosadoras.

A farinha crua formada pela mistura de calcário e argila passa por uma moagem em moinho de bolas, rolos ou barras, onde se processa o início da mistura das matérias-primas e ao mesmo tempo a sua pulverização, de modo a reduzir a granulometria das partículas a 0,050 mm em média.



Figura 7 - Moagem de Cru (Fonte: CIMESA, 2005)

2.3.5 - Silo de homogeneização de farinha

Depois de moída adequadamente, a farinha é armazenada em silos, conforme a Figura 8.



Figura 8 – Silo de Homogeneização de Farinha (Fonte: CIMESA, 2005)

2.3.6 - Torre de ciclones / pré-aquecedores

Um desenvolvimento decisivo na economia de calor no processo de produção via seca consiste na invenção dos pré-aquecedores com suspensão da farinha alimentada.

O processo do forno com pré-aquecedor foi então dividido em duas fases: o cilindro convencional para queima, que foi consideravelmente encurtado, e o pré-aquecimento e calcinação parcial da farinha crua pelos gases quentes de exaustão do forno, que é executado em um pré-aquecedor de suspensão em ciclones.

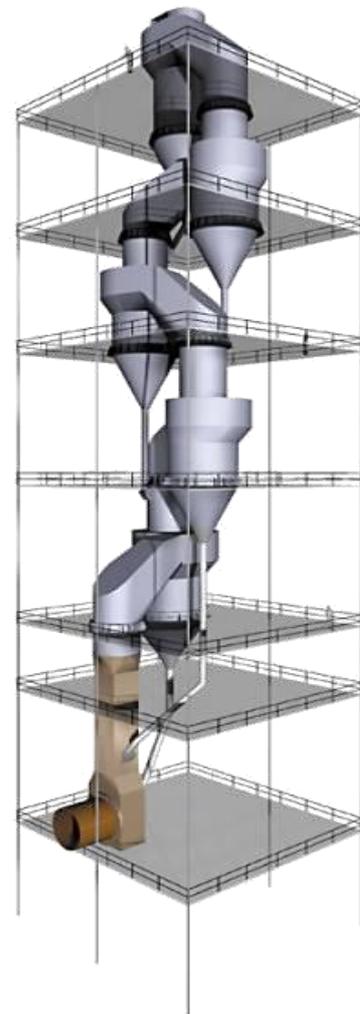


Figura 9 – Torre de Ciclones (Fonte: CIMESA, 2003)

2.3.7 - Forno rotativo

Após a mistura crua ser devidamente dosada e apresentar a granulometria adequada, conhecida como farinha, deve ter a sua homogeneização assegurada para permitir uma perfeita combinação dos elementos formadores do clínquer. A homogeneização é executada em silos verticais de grande porte através de processos pneumáticos e por gravidade.

Dos silos de homogeneização a farinha é introduzida no forno rotativo (Figura 10), passando antes por pré-aquecedores ou pré-calcinadores, equipamentos que aproveitam o calor dos gases provenientes do forno e promovem o aquecimento inicial do material. No forno rotativo, construído em forma de um cilindro de aço e revestido por tijolos refratários, com comprimento de 50m a 150 m e diâmetro de 6 m, a mistura é calcinada até 1450 °C, resultando no clínquer, um produto com aspecto de “bolotas” escuras.



Figura 10 - Forno Rotativo (Fonte: CIMESA, 2003)

2.3.8 - Resfriador de clínquer

Um resfriador promove a redução da temperatura a 80°C, aproximadamente. A clinquerização se completa nesta etapa, quando ocorre uma série de reações químicas que influenciarão na resistência mecânica do concreto nas primeiras idades (período inicial de sua análise), no calor de hidratação, no início de pega e na estabilidade química dos compostos.

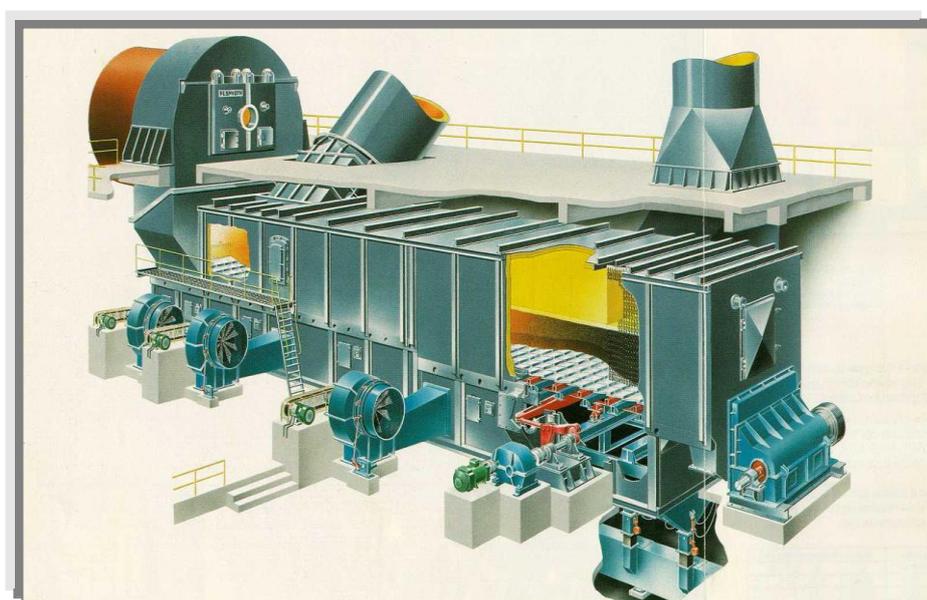


Figura 11 - Resfriador Folax de clínquer (Fonte: CIMESA, 1998)

2.3.9 - Silo de rejeito

Após o processo de resfriamento do clínquer é feita uma análise laboratorial horária do material, no qual se determina se o produto está dentro das especificações. Estando de acordo com a especificação requerida, o material segue seu fluxo normal para o silo de armazenamento; caso contrário, é desviado para o silo de rejeito.

2.3.10 - Silo de clínquer

A principal matéria-prima do cimento fica armazenada em silos, aguardando a próxima etapa do processo, Figura 12.



Figura 12 - Silos de Clínquer e Transportadores (Fonte:CIMESA, 2005)

2.3.11 - Silo de gesso e outros aditivos

Junto com o clínquer, outros aditivos, tais como o gesso, a escória de alto forno, a pozolana e o próprio calcário compõem os diversos tipos de cimento Portland. Essas substâncias são estocadas separadamente em silos antes de entrarem no moinho de cimento, Figura 13.



Figura 13 - Silos de Aditivos (Fonte: CIMESA, 2005)

2.3.12 - Moagem de cimento

É na moagem final que o clínquer, adicionado ao gesso mais outros aditivos, resulta no cimento tal como é conhecido. O cimento resultante da moagem do clínquer em moinhos de bolas (Figura 14) é transportado mecânica e pneumaticamente para os silos de cimento, onde é estocado. Após os ensaios finais de qualidade, o produto é enviado para a expedição.



Figura 14 – Moinho de Cimento (CIMESA, 2005)

2.3.13 - Expedição

A remessa do cimento ao mercado consumidor pode ser feita de duas maneiras: a granel ou em sacos de 25 kg e 50 kg. O ensacamento é feito em máquinas especiais, que automaticamente enchem os sacos e os liberam assim que atingem o peso especificado. A embalagem é feita de papel *Kraft*, que garante o perfeito manuseio pelo consumidor.

2.4 - Controle Estatístico do Processo (CEP)

O CEP se destaca como um dos métodos mais utilizados para controlar a qualidade, porque a qualidade está sendo “construída” no processo em vez de ser inspecionada no final (SLACK et al, 1997).

O CEP é uma metodologia que potencialmente permite conhecer o processo, manter o mesmo em estado de controle estatístico e melhorar a capacidade do mesmo.

Em suma, o CEP significa o entendimento da variação do processo, que permite se distinguir entre as flutuações aleatórias inerentes ao processo e as variações que podem indicar se o processo se modificou ou não, (DAVIS, AQUILANO e CHASE, 2001).

Todo processo varia de forma distinta. Alguns processos variam amplamente, outros processos variam de maneira tênue. Uma análise cuidadosa da variação inerente em um dado processo torna possível a comparação de seu desempenho atual com o seu desempenho esperado, determinado no decorrer do processo.

O CEP procura detectar a existência de erros, falhas e desperdícios, e corrigí-los (PALADINÍ, 1997, apud VALENTINA, 2003). O mesmo observa o defeito “*in loco*”, as suas causas, e atua de forma preventiva, combatendo o desperdício antes de sua ocorrência, utilizando a estatística como instrumento básico para organizar, fazer um tratamento e uma análise das informações do processo, permitindo assim a avaliação da qualidade para casos variados.

À medida que se eleva o grau de controle de processos, serão necessárias abordagens estatísticas de maior sofisticação.

Para que o processo seja previsível, é necessário que ele esteja sob controle. (WERKEMA, 1995). Assim, pode-se utilizar o CEP como uma metodologia experimental e prática, com a finalidade de se verificar os seguintes aspectos:

- ✓ Conhecimento do processo;
- ✓ Fidelidade dos dados coletados representados pelos gráficos de controle;
- ✓ Estabelecimento de critérios para verificar qual é o comportamento das mudanças de condições calculadas pelo CEP, ou seja, verificar se as alterações são causadas por variações inerentes ao sistema e se serão estáveis em função do tempo ou se ocorrem ocasionalmente.

A teoria básica do CEP diz, e se percebe, que inevitavelmente existirão variações em qualquer processo de uma amostra de um produto para outra, tendo em vista que não existem dois produtos ou duas características exatamente iguais. As causas dessas variações no processo podem ser divididas em dois grandes grupos:

1- Causas comuns ou aleatórias: são aquelas variações inerentes a um processo que se encontra sob controle estatístico, podendo ser difíceis de identificar, mas que fazem parte, porém, de um sistema constante de variação. O processo tem condições de absorvê-las sem gerar produtos defeituosos. Esta causa é inevitável e, fatalmente ocorrerá num processo, mesmo que a operação seja executada com uso de matérias-primas e métodos padronizados (KUME, 1993 apud VALENTINA, 2003). O processo cujas variações são devidas somente a causas aleatórias é um processo sob controle.

2- Causas especiais ou assinaláveis: simplesmente é qualquer situação que conduz uma observação além do limite de controle (PYZDEK, 1996, apud VALENTINA, 2003). Também são aquelas cujas fontes de variações são relativamente grandes, bem maiores do que a variabilidade natural, sendo, porém, identificáveis e que ocorrem fora do sistema constante de variação. São evitáveis e,

por gerarem defeitos, é necessário que sejam eliminadas. Existem casos gerados pelo não cumprimento de certos padrões operacionais, ou padrões inadequados. Segundo Montgomery (1997, p.131, apud VALENTINA, 2003) “Um processo que está operando na presença de causas assinaláveis é dito fora de controle”.

Para encontrar as causas especiais ou assinaláveis, é necessário o diagnóstico do processo. Para sua realização, utiliza-se a análise estatística com base em dados resultantes das medições. É importante destacar que o gráfico de controle não mostra quais são as causas especiais de variação que estão atuando no processo fora do controle estatístico, mas este dispõe de informações que podem ser utilizadas na identificação dessas causas. A chave para operação dos cálculos e gráficos no CEP é fundamental para que as variações inerentes ao processo afetem todas as medidas e que serão estáveis com o passar do tempo. O processo é dito estável, quando apenas causas comuns afetam o processo, ou seja, as variações são somente inerentes ao processo e a incapacidade para descobrir um processo estável é a causa de muitos erros.

2.4.1- Variabilidade

A variabilidade, também denominada variação ou dispersão, está presente em todos os processos de produção de bens e fornecimento de serviços.

Há muitas causas para a presença da variabilidade. De modo geral, pode-se dizer que a variabilidade é o resultado de alterações nas condições sob as quais as ações são tomadas. Estas alterações podem refletir diferenças entre as matérias-primas, as condições dos equipamentos, os métodos de trabalho, as condições ambientais e os operadores envolvidos no processo considerado, (WERKEMA, 1995).

A variabilidade também é decorrente do sistema de medição empregado. Quando se mede o peso de um objeto, o valor que será obtido dependerá da localização exata do objeto na balança e da calibração do aparelho, dentre outros fatores. Por este motivo, se um mesmo objeto for pesado duas vezes, provavelmente não serão obtidos dois resultados idênticos.

Neste sentido, o processo pode ser visualizado como um conjunto de causas de variação, as quais provocam as mudanças nas diversas características da qualidade dos produtos, o que poderá dar origem aos produtos defeituosos. Nota-se que um produto será considerado defeituoso se suas características da qualidade não satisfazem a uma determinada especificação; caso contrário, será considerado perfeito ou não-defeituoso. Mesmo os produtos não-defeituosos apresentam variações dentro dos limites de sua especificação, o que significa dizer que estes produtos não são exatamente idênticos, (WERKEMA, 1995).

O controle de fabricação é exercido pelo produtor durante o processo produtivo, tendo como objetivo manter a qualidade do produto satisfatoriamente, prevenindo a produção não-conforme (LOURENÇO FILHO, 1964).

Segundo LOURENÇO FILHO (1964) a verificação de que o processo está ou não sob controle é feita pelo exame dos itens das amostras extraídas periodicamente. Caso o processo já esteja sob controle, as amostras apresentarão uma variabilidade correspondente a das amostras extraídas de uma população normal, isto é, a variabilidade devida apenas ao acaso na amostragem. O processo sob controle supõe, portanto, que o característico de qualidade do conjunto dos itens produzidos possua uma distribuição normal.

A distribuição normal é a mais importante distribuição de probabilidades, não apenas na teoria estatística, como também nas suas aplicações a problemas industriais.

A Figura 15 apresenta a Função de Distribuição Normal Padronizada, onde 99,7% dos valores de uma distribuição normal, estará dentro dos limites 3σ (a partir do centro da distribuição normal), se o processo estiver sob controle. Com o mesmo raciocínio 95,4% dos valores de uma distribuição estará em 2/3 da faixa de variação, e por fim 68,3% dos valores de uma distribuição estará em 1/3 da faixa controle (PALADINI, 1997).

σ = desvio padrão.

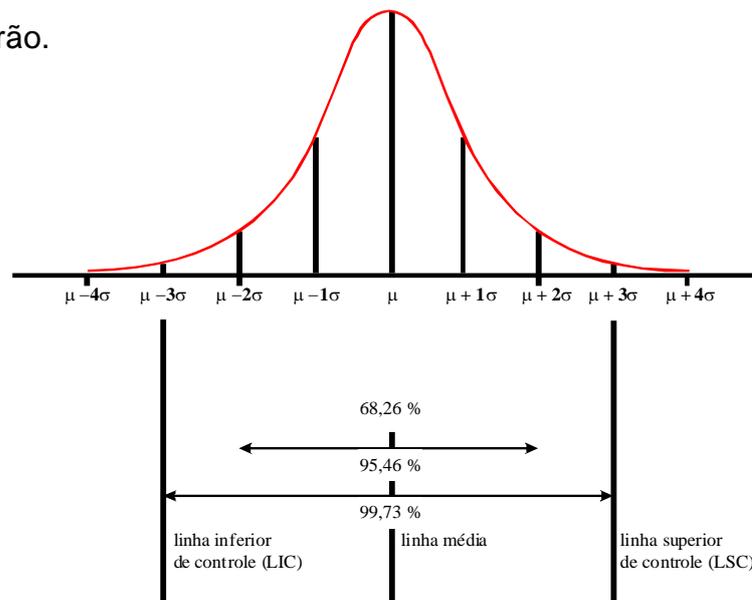


Figura 15 - Relação entre a distribuição normal e os gráficos de controle

Fonte: Adaptado de Paladini (1997, p.138).

2.4.2 - Capacidade do processo

Um processo é considerado capaz quando atende às especificações e ao nível de qualidade a partir das necessidades do cliente. Uma das ferramentas de grande importância para avaliar se um processo está estável e apto a satisfazer as especificações do cliente são as cartas de controle, que demonstram a variabilidade do processo.

Um processo sob controle estatístico (estável) apresenta previsibilidade. É necessário que o controle estatístico esteja estabelecido antes do cálculo da capacidade do processo. Se o processo não é estável, então possui comportamento imprevisível, não tendo sentido a sua avaliação. Somente processos estáveis devem ter sua capacidade avaliada.

Deve-se avaliar o processo através das especificações a partir das necessidades do cliente. Esta avaliação constitui o estudo da capacidade do processo que é definida a partir da faixa de controle (limites de controle). Estando o processo sob controle e sendo verdadeira a suposição de normalidade, 99,74% dos valores da variável de interesse devem pertencer a esta faixa (JURAN, 1990). A amplitude desse intervalo, 6σ , quantifica a variação natural do processo.

Os processos estáveis são previsíveis, porque os valores de suas características de qualidade flutuam dentro de uma faixa, denominada faixa padrão do processo ou faixa característica.

2.4.3 - Índices de capacidade

Outra maneira de se analisar um processo estável é calcular a capacidade do processo, ou seja, conhecer a consistência do processo, pois um processo pode estar sob controle, mas fora das especificações (JOHN, 1990). Para a medição dessa capacidade utilizam-se os índices, ou seja, a comparação das especificações de engenharia com a faixa característica do processo, a qual pode ser feita por meio de índices de capacidade, fornecendo uma linguagem comum e de entendimento fácil para a quantificação e comparação do desempenho de processos.

Os índices de capacidade são válidos apenas para processos sob controle e com distribuição próxima da normal.

Os índices de interesse em um processo são C_p e C_{pk} , pois revelam a uniformidade do processo, ou seja, se esse processo atende a um conjunto de especificações, à variação do processo e também às tendências naturais do processo.

Índice C_p – Mede a capacidade potencial do processo, ou seja, o que o processo poderia fazer, pois leva em consideração apenas a variação natural do processo, relacionando a faixa de variação permitida e a faixa real de variação do processo para especificações bilaterais:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

sendo: LSE–LIE = faixa de tolerância e

LSE = limite superior de especificação

LIE = limite inferior de especificação

Como o desvio-padrão do processo (σ) normalmente é desconhecido, este é substituído pela estimativa retirada das amostras, definido pela seguinte fórmula:

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

A fórmula acima apresenta um critério para classificação de processos segundo o índice C_p , o qual vem sendo utilizado por diversas empresas. O valor mínimo exigido para o C_p é 1,33.

Índice C_{pk} - Mede a posição e a dispersão de um processo em relação ao valor médio especificado (SOMMER, 2000); ele está relacionado com o índice, mas utiliza o valor da média do processo, avaliando se o processo atinge o alvo estabelecido. Pode ser interpretado como uma medida da capacidade real do processo, sendo calculado através da seguinte fórmula:

$$C_{pk} = \text{MIN} \left[\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right]$$

Novamente, como a média μ e o desvio padrão σ do processo usualmente são desconhecidos, deveremos substituí-los por estimativas adequadas, e, portanto a estimativa \hat{C}_{pk} de C_{pk} será calculada pela expressão:

$$\hat{C}_{pk} = \text{MIN} \left[\frac{\text{LSE} - \bar{\bar{x}}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{\bar{x}} - \text{LIE}}{3\hat{\sigma}} \right]$$

O processo estará bem centrado no valor nominal da especificação somente quando $C_p = C_{pk}$.

2.4.4 - Cartas de controle

As cartas de controle são usadas para analisar e monitorar a variabilidade do processo. Este procedimento é realizado observando a causa da variabilidade dentro do processo entre os limites de controle, o qual acompanhará as variações existentes nos processos, distinguindo causas comuns (ou seja, aquelas consideradas de pequenas variações aleatórias, e insignificantes ao processo) das causas especiais, que devem ser identificadas e corrigidas para que o processo permaneça dentro de um padrão esperado de desempenho (MICHEL e FLOGLIATTO, 2002).

A carta de controle é uma ferramenta que dispõe os dados do fenômeno que está sendo analisado de modo a permitir a visualização do tipo de variação desse fenômeno – variação natural (típica) ou variação especial (atípica), (WERKEMA, 2002).

As cartas de controle servem como registros históricos no processo de aprendizado e podem ser usadas por outras pessoas para melhorar outros processos. As cartas de controle também são úteis ao comunicar os resultados a líderes, provedores, clientes e outros que têm interesse na melhoria da qualidade.

As cartas de controle foram implantadas na unidade CIMESA em abril/2003, sendo monitoradas atualmente todas as variáveis críticas do processo, garantindo uma maior agilidade na tomada de ações e maior eficiência do processo, conforme mostra a Figura 16.

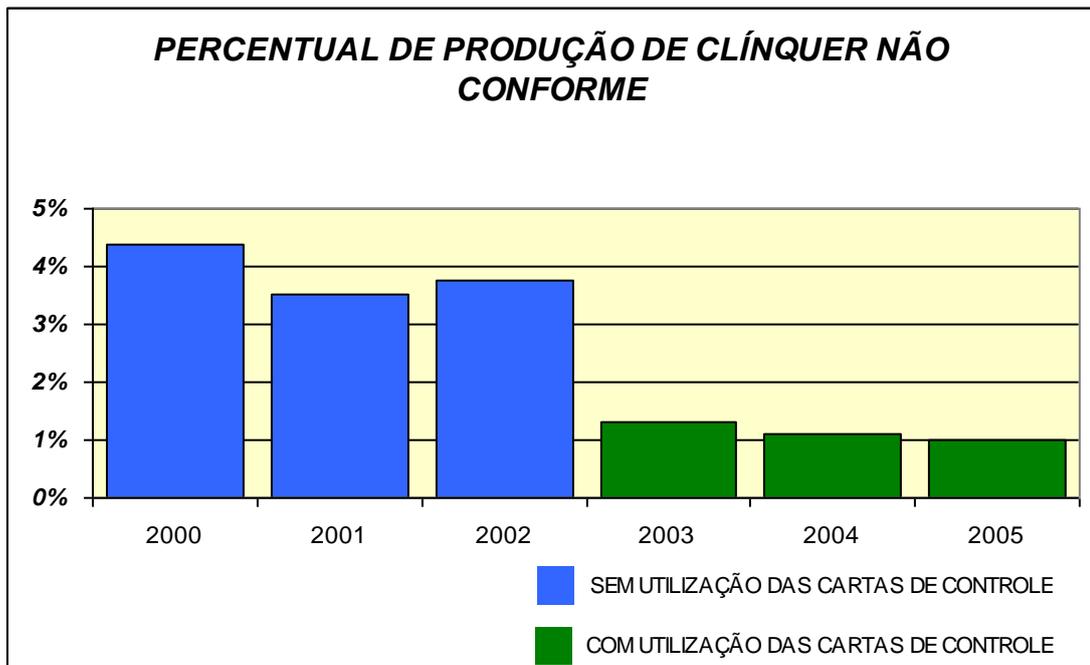


Figura 16 - Percentual de Produção de Clínquer Não-Conforme (Fonte: CIMESA, 2005)

Com base nestes dados históricos fornecidos pela empresa, constata-se que houve uma melhoria no processo produtivo de clínquer após a utilização das cartas de controle como ferramenta estatística de monitoramento do processo.

2.4.4.1 - Etapas para a construção das cartas de controle

As etapas para a construção e utilização das Cartas de Controle tipo \bar{X} , são as seguintes:

- 1ª. - Escolha da característica da qualidade a ser controlada;

2ª. – Coleta de dados – coletam-se m amostras, cada uma contendo n observações, geralmente m varia entre 20 a 25, e n entre 4 e 6. A coleta deverá ser feita em intervalos sucessivos, registrando-se as observações na ordem que forem obtidas;

3ª. – Cálculo da média \bar{x}_i de cada amostra de acordo com a equação 1:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n} \quad (1)$$

Onde $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$

4ª. – Cálculo da média global $\bar{\bar{x}}$, conforme equação 2:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{m} \quad (2)$$

5ª. – Cálculo da amplitude R_i de cada amostra, onde: R = maior valor da amostra i – menor valor da amostra i ;

6ª. - Cálculo da amplitude média \bar{R} , conforme equação 3:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (3)$$

7ª. - Cálculo dos limites de controle da carta de controle \bar{X} , conforme equação 4:

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{R} \\ \text{LM} &= \bar{\bar{x}} \\ \text{LIC} &= \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{R} \end{aligned} \quad (4)$$

onde:

LSC = Limite Superior de Controle;

LM = Limite Médio

LIC = Limite Inferior de Controle;

\bar{X} = Média Global;

A_2 = Constante tabelada em função do tamanho m das amostras;

\bar{R} = Amplitude Média.

As cartas de controle permitem a interpretação do comportamento (variação) do processo. Os exemplos a seguir, representam as cartas de controle X que monitoram o componente de variação de longo prazo para valores individuais, sendo que a sua interpretação correta é que dará a possibilidade da tomada de ação rápida e eficaz sobre o processo, conforme mostra a Figura 17.

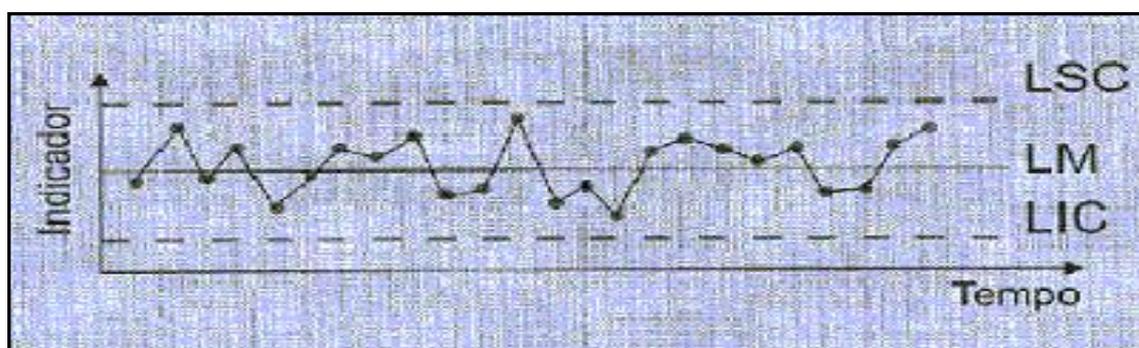


Figura 17 - Carta de Controle com Processo sob Controle (CANASSA, 2000)

A seguir são apresentadas situações que mostram um processo fora de controle estatístico e que necessitam de ações.

A Figura 18 mostra pontos fora do limite de controle, correspondentes a situações que geralmente ocorrem em consequência de erro de registro de dados, erros de cálculo ou medição, ação incorreta do operador, variações no processo e/ou na matéria-prima.

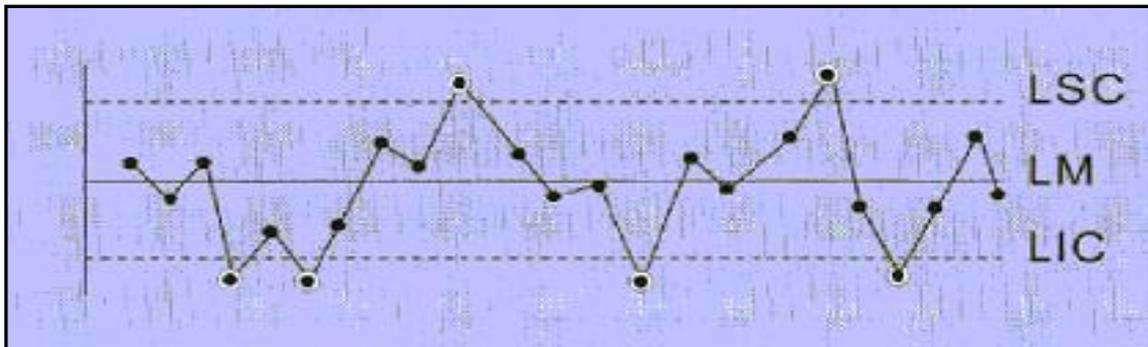


Figura 18 - Pontos Fora dos Limites de Controle (CANASSA, 2000)

A Figura 19 mostra uma periodicidade, ou seja, ela está presente quando a curva traçada na carta de controle apresenta repetidamente uma tendência para cima e para baixo, em intervalos de tempo que têm aproximadamente, a mesma amplitude.

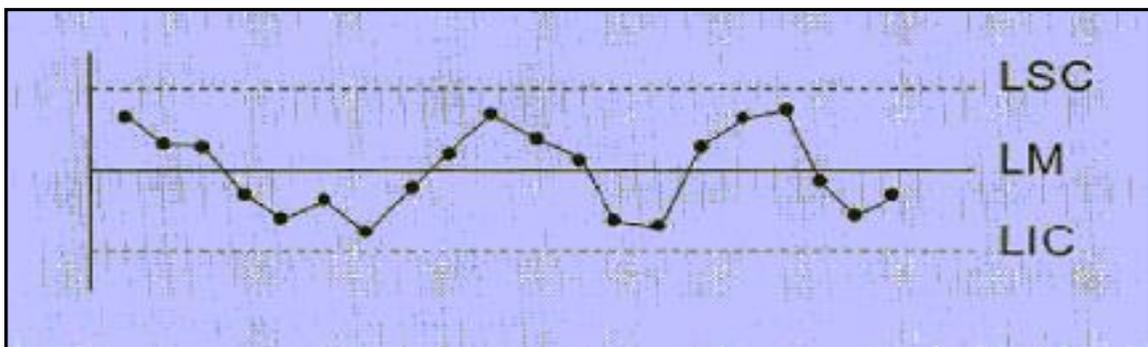


Figura 19 - Periodicidade (CANASSA, 2000)

A Figura 20 representa uma seqüência de vários pontos consecutivos da carta de controle que aparecem apenas em um dos lados da linha média. Uma seqüência indica uma mudança no nível do processo, que pode resultar, por exemplo, da mudança de novos operadores, matérias-primas ou padrões operacionais.

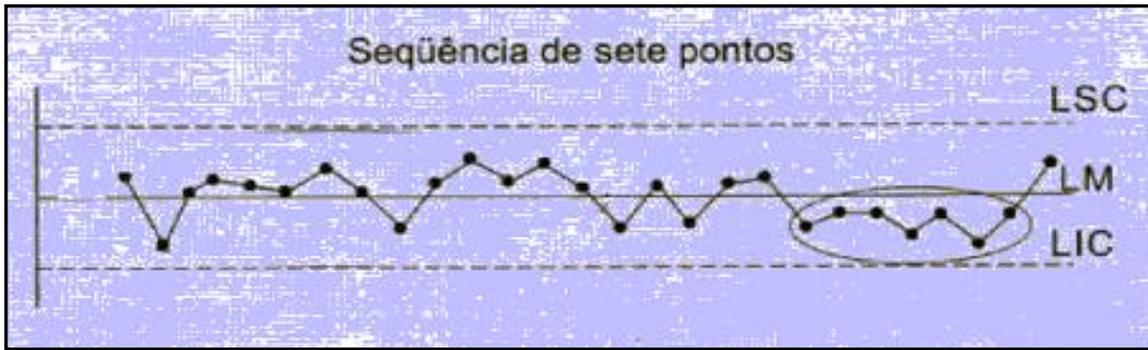


Figura 20 - Seqüência (CANASSA, 2000)

A Figura 21 mostra uma tendência que é uma configuração de vários pontos consecutivos da carta de controle que apresentam um movimento contínuo ascendente ou descendente. As mudanças graduais nos processos ou nas matérias-primas podem provocar esta tendência.

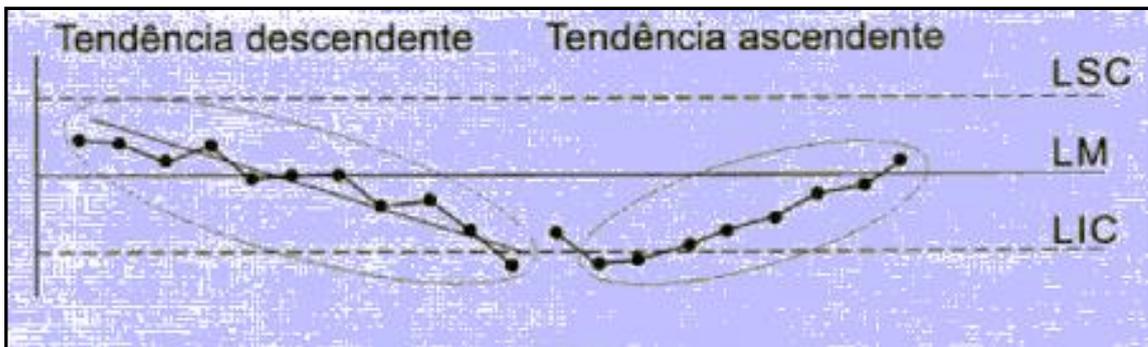


Figura 21 - Tendência (CANASSA, 2000)

3 - METODOLOGIA

Os dados referentes às variáveis críticas que foram escolhidas para análise, foram colhidas em dias aleatórios, para poder representar uma melhor semelhança com os dados da população analisada. Foram escolhidas cinco variáveis críticas entre as mais importantes no processo de fabricação do clínquer: **Fator de Saturação (FSC), Módulo de Sílica (MS), Módulo de Alumínio (MA), Peso Litro (PS) e Cal Livre (CaO).**

Para determinação dos valores referentes às variáveis coletaram-se, no intervalo de uma hora, amostras de farinha e de clínquer, que são processadas obedecendo as seguintes etapas:

- 1 – Para a farinha é confeccionada uma pastilha arredondada do produto, de aproximadamente, 40 mm de diâmetro por 5mm de espessura;
- 2 – Esta pastilha depois de endurecida é colocada no aparelho de Raios-X, que mostrará o teor de cada componente que se deseja conhecer;
- 3 – Após a passagem pelo aparelho de Raios-X, é conhecido o percentual de cal livre (CaO);
- 4 – O Fator de Saturação (FSC), o Módulo de Sílica (MS) e o Módulo de Alumínio (MA) são calculados através dos resultados obtidos no Aparelho de Raios-X e com base nas equações (5), (6) e (7), descritas nos itens 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3, respectivamente.
- 5 – O Peso Litro (PS) do forno é calculado mediante o enchimento de clínquer de um recipiente de 1 dm³, ou seja, equivalente a um litro, sendo determinado o seu peso, ou simplesmente a sua densidade aparente.
- 6 – Ao final do procedimento, estes dados são processados no laboratório de análise e ensaios físico-químicos e incluídos em um banco de dados através de

planilhas eletrônicas fornecidas pela empresa, as quais geram automaticamente as cartas de controles que são utilizadas para o monitoramento do processo.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão mostrados os resultados obtidos e suas respectivas análises, das quais destaca-se os benefícios gerados através do acompanhamento e da interpretação correta do comportamento das variações inerentes ao processo de fabricação de clínquer via cartas de controle.

4.1 - Análises das Variáveis Críticas do Processo

4.1.1 - Fator de Saturação (FSC)

O fator de saturação consiste na relação entre o óxido de cálcio (CaO) e os demais óxidos com os quais o mesmo reage, conforme equação 5:

$$\text{FSC} = \frac{\text{CaO}}{2,8\text{SiO}_2 + 1,18\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65\text{Fe}_2\text{O}_3} \cdot 100 \quad (5)$$

O fator de saturação ideal na farinha produzida normalmente está entre 94-100%.

Valores acima desta faixa podem provocar as seguintes reações:

- Queima difícil, gerando alto consumo de combustível;
- Tendência a maior expansibilidade do cimento;
- Maior conteúdo do C₃S (alita)
- Menor conteúdo do C₂S (belita)

De acordo com a Tabela 1, foi calculado o FSC, com base nas amostras da farinha alimentada no forno, em um período de 24 horas, em três dias escolhidos aleatoriamente.

Tabela 1 – Fator de Saturação - FSC (Fonte: Laboratório CIMESA, 2005)

HORÁRIO	FSC - Fator de Saturação			HORÁRIO	FSC - Fator de Saturação		
	26/11	03/12	10/12		26/11	03/12	10/12
01:00:00	97,00	98,53	95,93	13:00:00	98,00	92,32	99,70
02:00:00	99,00	100,83	97,05	14:00:00	96,26	94,92	97,00
03:00:00	95,08	97,33	96,62	15:00:00	98,69	95,72	98,56
04:00:00	96,50	99,70	95,10	16:00:00	96,61	96,52	96,00
05:00:00	95,46	94,84	97,67	17:00:00	97,75	100,72	98,00
06:00:00	97,30	95,00	97,83	18:00:00	96,85	96,97	97,00
07:00:00	97,16	94,09	98,73	19:00:00	97,90	99,18	96,70
08:00:00	96,00	95,62	98,18	20:00:00	95,03	95,45	97,11
09:00:00	96,00	94,49	95,49	21:00:00	98,42	96,00	99,64
10:00:00	96,70	91,92	100,78	22:00:00	95,80	99,30	99,40
11:00:00	94,63	96,97	97,73	23:00:00	98,30	97,91	98,50
12:00:00	97,50	96,08	99,00	23:59:59	96,09	96,50	98,10
				MÉDIA	96,83	96,54	97,74

As Figuras 22 a 24 mostram as variações do Fator de Saturação para a farinha tipo exportação, nos dias 26/11/05 (amostra “A”), 03/12/05 (amostra “B”) e 10/12/05 (amostra “C”), respectivamente.

A Figura 22 mostra uma situação na qual o processo se encontra sob controle estatístico, pois se observa claramente que as variações ocorridas no período estão entre a faixa dos limites de controle, portanto não merecendo nenhuma ação efetiva no monitoramento do processo.

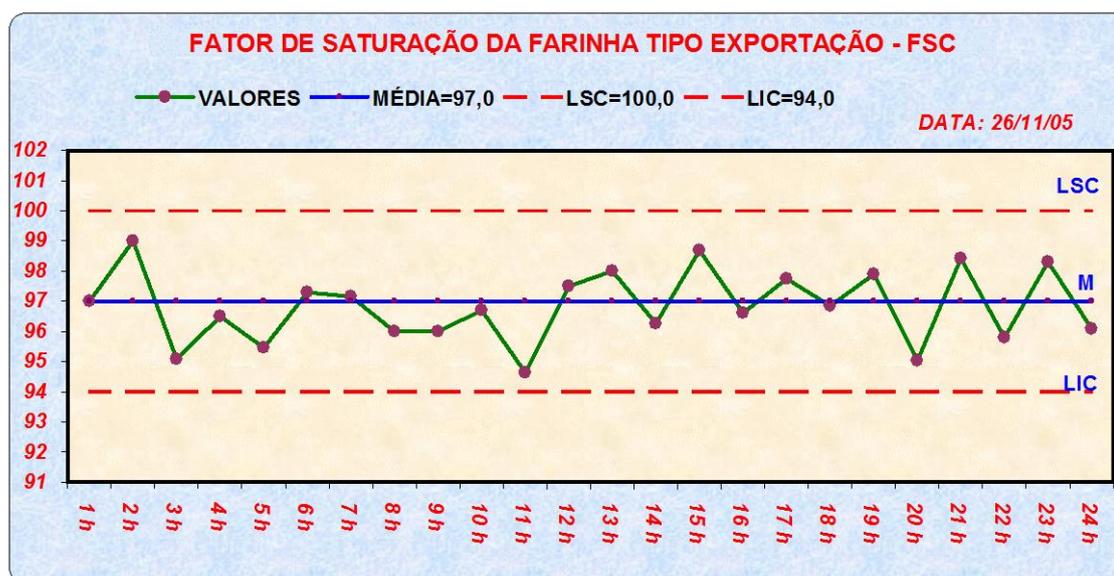


Figura 22 - Fator de Saturação da Farinha – Amostra “A” (Fonte: CIMESA, 2005)

A Figura 23 mostra ocorrências de variações fora da faixa especificada, o que necessitará de uma ação efetiva nas causas de variações especiais, para que o processo passe a operar normalmente dentro dos limites especificados.

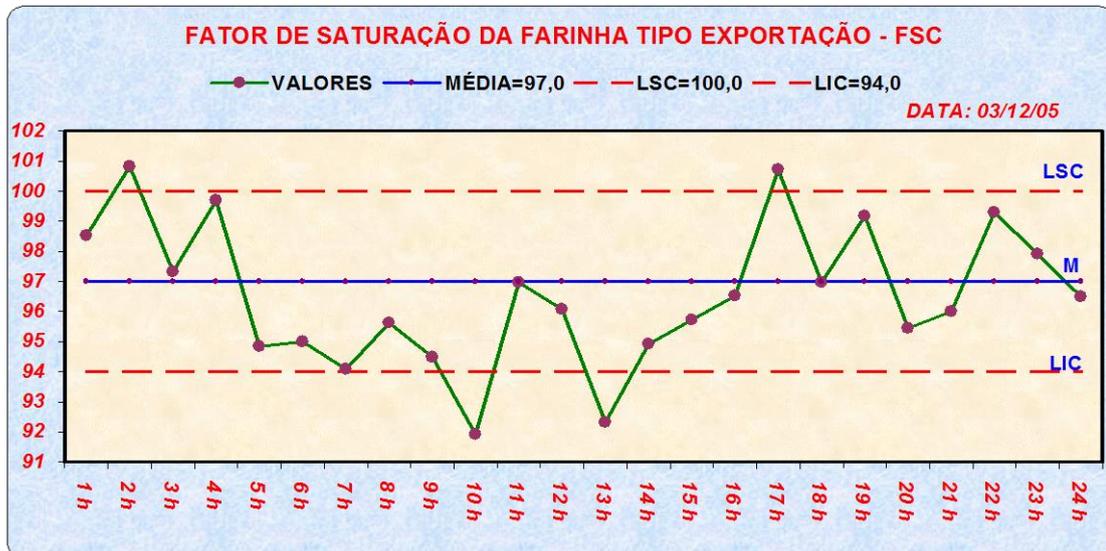


Figura 23 - Fator de Saturação da Farinha – Amostra “B” (Fonte: CIMESA, 2005)

A Figura 24 mostra uma situação de alerta, ou seja, houve no período a incidência de apenas um ponto fora dos limites de controle. Com isso deve-se verificar a ocorrência e fazer um acompanhamento mais rigoroso, para garantir que o processo volte a operar dentro da normalidade.

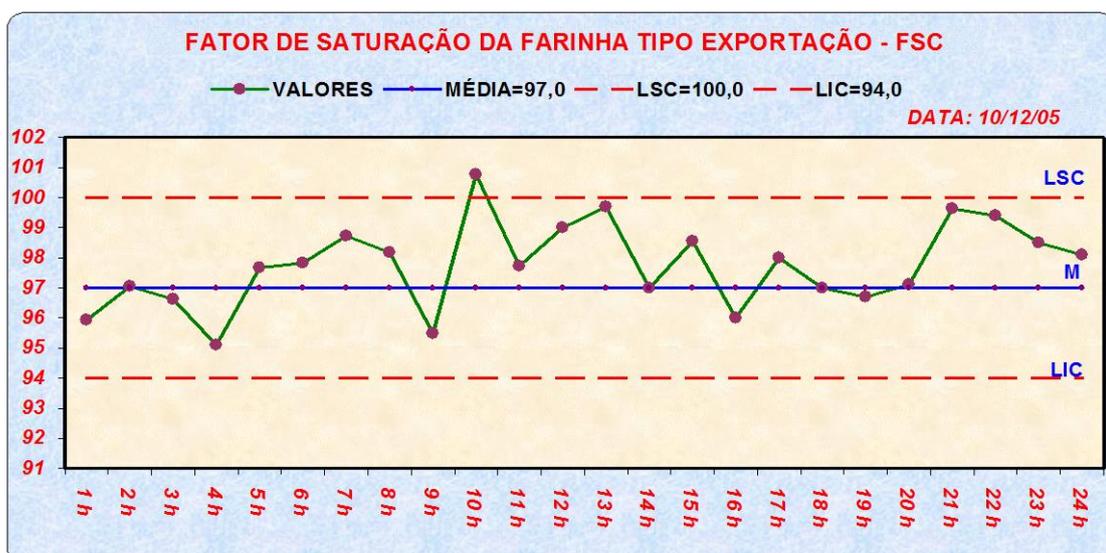


Figura 24 - Fator de Saturação da Farinha – Amostra “C” (Fonte: CIMESA, 2005)

4.1.2 - Módulo de Sílica (MS)

O módulo de sílica consiste na relação entre SiO_2 e os óxidos de alumínio e ferro e expressam o equilíbrio entre os elementos não fundentes e fundentes, conforme a equação:

$$\text{MS} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (6)$$

O valor ideal na farinha deverá estar entre 2,5 – 2,9. Valores fora desta faixa podem resultar nas seguintes situações, conforme Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Ocorrências para Módulo de Sílica (MS) fora da faixa

MS alto	MS baixo
<ul style="list-style-type: none"> • Elevada carga térmica; • Menor quantidade de fase líquida; • Clínquer pulverulento; • Queima difícil e alto consumo de combustível; • Tendência a causar expansibilidade; • Dificulta a formação de colagens no forno; • Deteriorização do revestimento de refratário do forno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Excesso de fase líquida e menor consumo térmico; • Deteriorização do revestimento de refratário; • Formação de colagem de baixo ponto de fusão; • Favorece a formação de bolas de clínquer de elevada dureza; • Resulta em cimento de baixa resistividade;

De acordo com a Tabela 2, foi calculado o MS, com base nas amostras da farinha alimentada no forno, em um período de 24 horas, em três dias escolhidos aleatoriamente.

Tabela 2 – Módulo de Sílica - MS (Fonte: laboratório CIMESA, 2005)

HORÁRIO	MS - Módulo de Sílica			HORÁRIO	MS - Módulo de Sílica		
	26/11	03/12	10/12		26/11	03/12	10/12
01:00:00	2,77	2,59	2,72	13:00:00	2,55	2,54	2,62
02:00:00	2,84	2,67	2,66	14:00:00	2,52	2,41	2,67
03:00:00	2,71	2,81	2,67	15:00:00	2,58	2,81	2,64
04:00:00	2,66	2,78	2,55	16:00:00	2,65	2,87	2,79
05:00:00	2,66	2,88	2,49	17:00:00	2,73	2,81	2,83
06:00:00	2,61	2,76	2,55	18:00:00	2,43	2,77	2,65
07:00:00	2,48	2,75	2,62	19:00:00	2,55	2,70	2,82
08:00:00	2,51	2,65	2,67	20:00:00	2,74	2,85	2,83
09:00:00	2,77	2,54	2,72	21:00:00	2,65	2,88	2,81
10:00:00	2,80	2,54	2,68	22:00:00	2,58	2,88	2,70
11:00:00	2,67	2,82	2,76	23:00:00	2,36	2,75	2,79
12:00:00	2,61	2,62	2,81	23:59:59	2,60	2,69	2,81
				MÉDIA	2,63	2,72	2,70

As Figuras 25 a 27 mostram as variações do Módulo de Sílica para a Farinha, nos dias 26/11/05 (amostra "A"), 03/12/05 (amostra "B") e 10/12/05 (amostra "C"), respectivamente.

A Figura 25 mostra uma periodicidade, ou seja, ela está presente quando a curva traçada na carta de controle apresenta repetidamente uma tendência para cima e para baixo. Esta situação necessita de ações corretivas para eliminação das causas relevantes que estão causando estas variações.

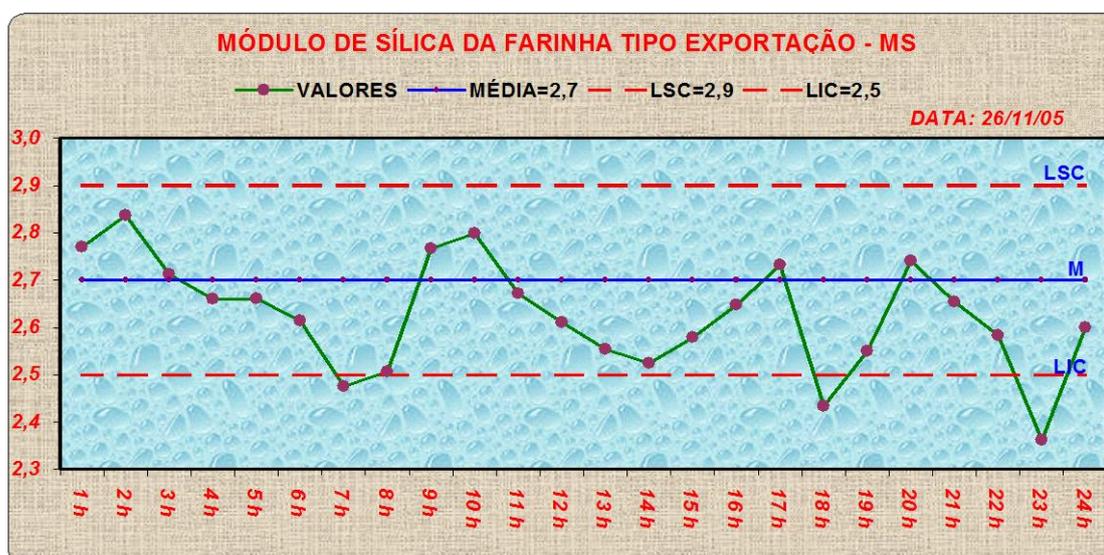


Figura 25 - Módulo de Sílica da Farinha - B (Fonte: CIMESA, 2005)

A Figura 26 também apresenta uma periodicidade, ou seja, situação em que, uma atuação mais rigorosa nas causas especiais destas variações, se faz necessária para que o processo seja mantido sob controle estatístico.

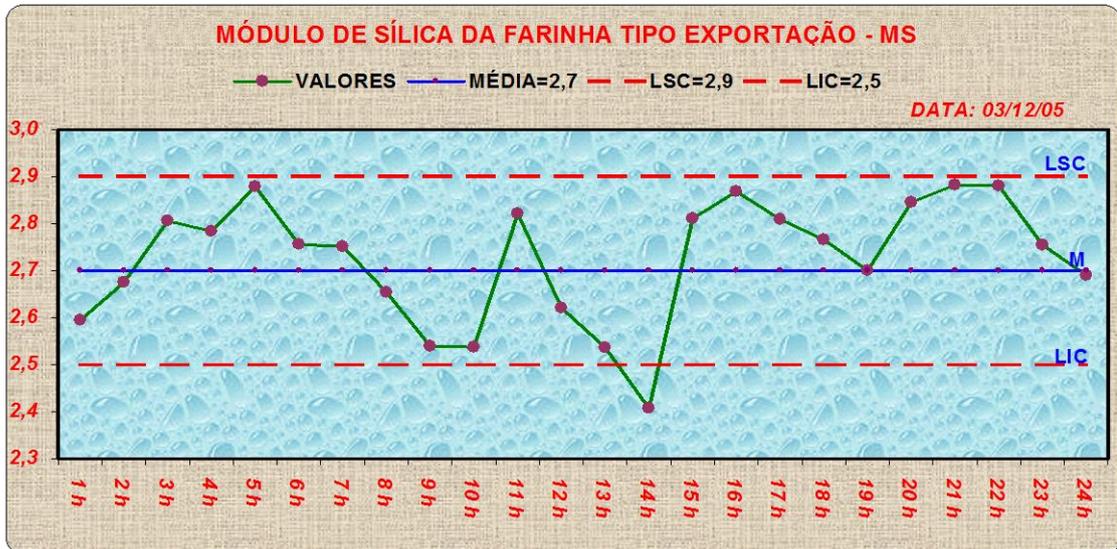


Figura 26 - Módulo de Sílica da Farinha - B (Fonte:CIMESA, 2005)

A Figura 27 mostra uma situação que merece uma atenção especial, pois apesar de haver variação dentro dos limites especificados, há uma instabilidade no processo, necessitando de medidas no sentido de reduzir a amplitude das variações através de um aumento percentual de minério de ferro na farinha (vide equação 6).

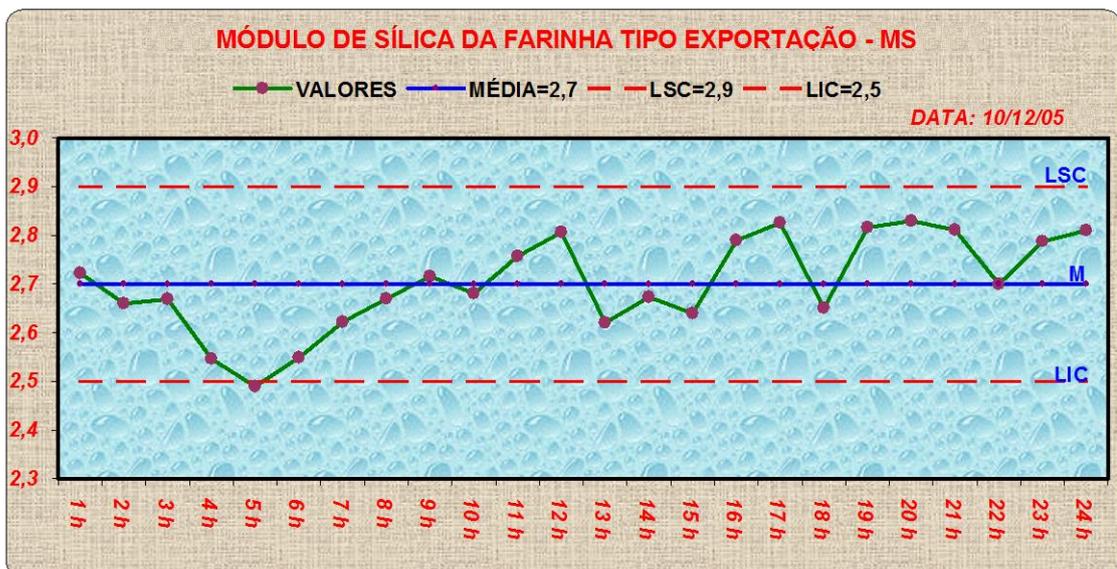


Figura 27 - Módulo de Sílica da Farinha - C (Fonte: CIMESA, 2005)

4.1.3 - Módulo de Alumínio (MA)

O módulo de alumínio (MA), consiste na relação entre os elementos fundentes, ou seja, alumínio e ferro, conforme a equação:

$$MA = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (7)$$

Seu valor na farinha deverá estar entre 1,35 – 1,65; valores fora desta faixa podem resultar nas seguintes situações, conforme Quadro 2, a seguir:

Quadro 2 - Ocorrências para o Módulo de Alumínio (MA) fora da faixa

MA alto	MA baixo
<ul style="list-style-type: none"> • Determina queima difícil e maior consumo térmico; • Aumenta a proporção de C₃A e reduz C₄AF; • Reduz a quantidade de fase líquida e produção do forno; • Aumenta a viscosidade da fase líquida; • Resulta o alto calor de hidratação; • Resulta em modulização difícil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fase líquida mais fluida; • Baixo calor de hidratação; • Alta granulação quando não há sílica livre na farinha; • Favorece a formação de bolas; • Resulta em cimento de baixa resistividade.

De acordo com a Tabela 3, foi calculado o MA, com base nas amostras da farinha alimentada no forno, em um período de 24 horas, em três dias escolhidos aleatoriamente.

Tabela 3 – Módulo de Alumínio - MA (Fonte: Laboratório CIMESA, 2005)

HORÁRIO	MA - Módulo de Alumínio			HORÁRIO	MA - Módulo de Alumínio		
	26/11	03/12	10/12		26/11	03/12	10/12
01:00:00	1,60	1,39	1,63	13:00:00	1,47	1,39	1,57
02:00:00	1,55	1,38	1,61	14:00:00	1,55	1,47	1,50
03:00:00	1,40	1,48	1,62	15:00:00	1,52	1,67	1,36
04:00:00	1,48	1,70	1,45	16:00:00	1,68	1,69	1,41
05:00:00	1,57	1,69	1,40	17:00:00	1,66	1,67	1,55
06:00:00	1,49	1,68	1,40	18:00:00	1,38	1,53	1,49
07:00:00	1,36	1,60	1,53	19:00:00	1,64	1,42	1,63
08:00:00	1,37	1,53	1,50	20:00:00	1,63	1,47	1,58
09:00:00	1,64	1,39	1,40	21:00:00	1,64	1,58	1,56
10:00:00	1,63	1,49	1,47	22:00:00	1,57	1,63	1,45
11:00:00	1,62	1,53	1,61	23:00:00	1,45	1,50	1,44
12:00:00	1,61	1,53	1,61	23:59:59	1,42	1,47	1,51
				MÉDIA	1,54	1,54	1,51

As Figuras 28 a 30 mostram as variações do Módulo de Alumínio para a Farinha, nos dias 26/11/05 (amostra "A"), 03/12/05 (amostra "B") e 10/12/05 (amostra "C"), respectivamente.

A Figura 28 está evidenciando uma situação péssima, onde as variações flutuam em alta amplitude, o que se pode constatar que o processo está totalmente fora de controle estatístico, necessitando de uma ação imediata no sentido de minimizar as causas especiais que estão atuando e impossibilitando seu controle.

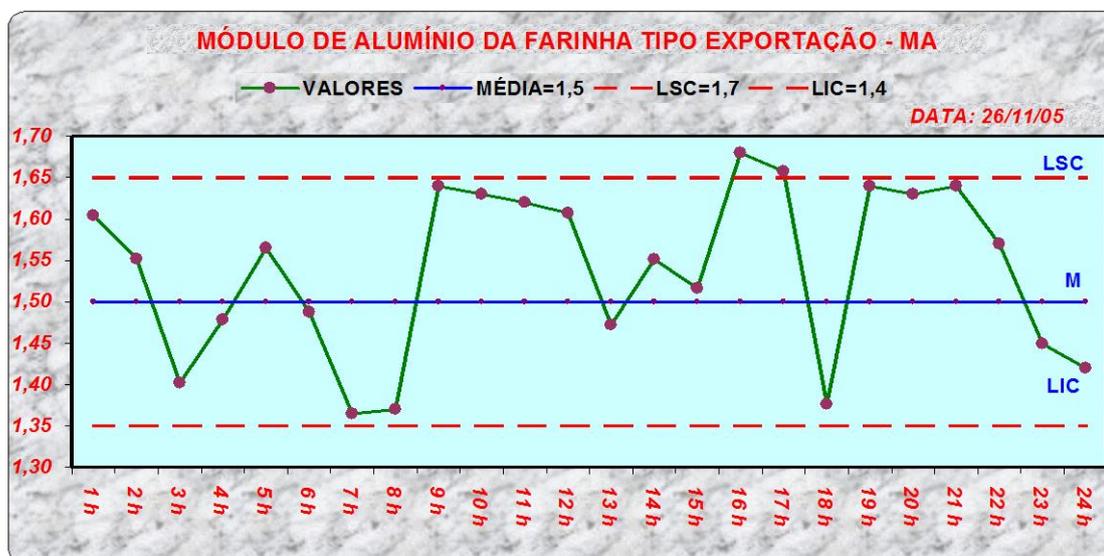


Figura 28 - Módulo de Alumínio da Farinha - C (Fonte: CIMESA, 2005)

A Figura 29 mostra uma situação idêntica à da Figura 28, ou seja, processo fora do controle estatístico e merecendo maior rigor no acompanhamento e atuação nas causa destas variações.

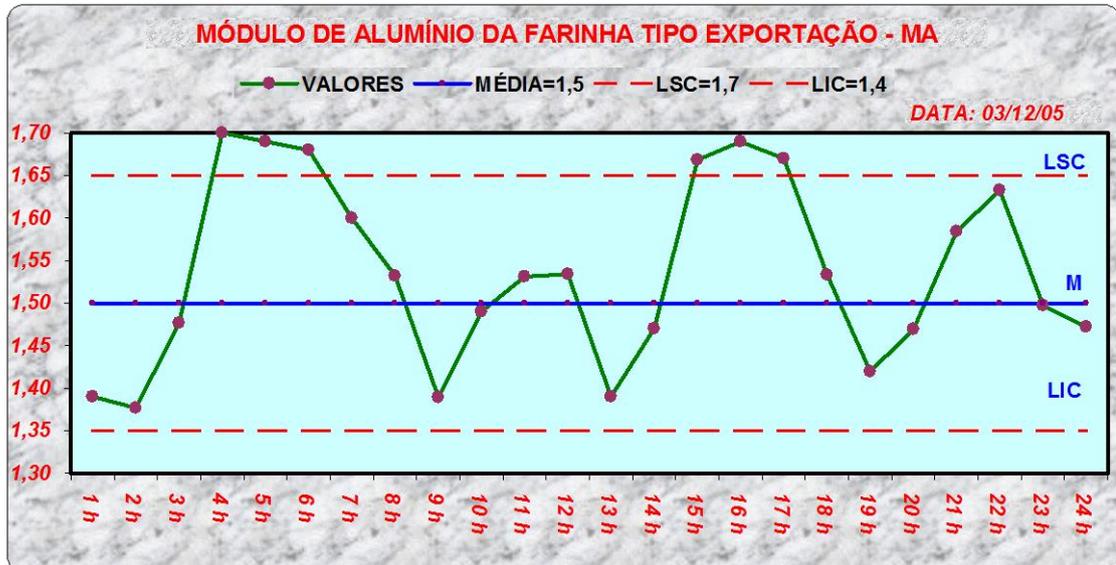


Figura 29 - Módulo de Alumínio da Farinha - B (Fonte: CIMESA, 2005)

A Figura 30 mostra uma situação também idêntica à da Figura 28, apenas com uma amplitude de variação menor, o que não dispensa uma forte atuação no sentido de reduzir as causas destas variações e manter o processo sob controle.

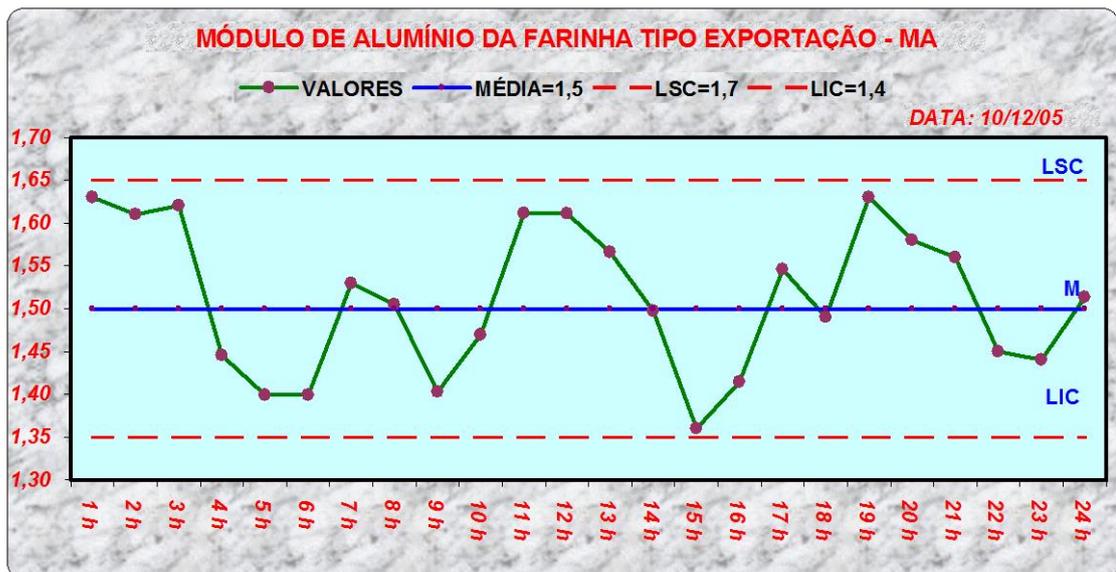


Figura 30 - Módulo de Alumínio da Farinha - C (Fonte: CIMESA, 2005)

4.1.4 - Peso Litro (PS)

O peso litro constitui-se no ensaio de determinação da densidade aparente do clínquer, sendo um indicativo muito importante para a operação do forno.

De acordo com a Tabela 4, foi calculado o Peso Litro, com base nas amostras de clínquer retiradas do forno, em um período de 24 horas, em três dias escolhidos aleatoriamente. O valor ideal para um clínquer de boa qualidade deverá estar entre 1000 e 1200 g/dm³.

Tabela 4 - Peso Litro - PS (Fonte: Laboratório CIMESA, 2005)

HORÁRIO	P. LITRO			HORÁRIO	P. LITRO		
	26/11	03/12	10/12		26/11	03/12	10/12
01:00:00	1200	1030	1045	13:00:00	1120	1100	1120
02:00:00	1040	1010	1040	14:00:00	1100	1080	1100
03:00:00	1070	1040	1070	15:00:00	1130	1060	1130
04:00:00	1100	1100	1100	16:00:00	1150	1090	1150
05:00:00	1050	1060	1050	17:00:00	1080	1040	1080
06:00:00	1080	1050	1080	18:00:00	1300	1000	1270
07:00:00	1105	1020	1050	19:00:00	1250	980	1250
08:00:00	1080	1000	1080	20:00:00	1240	1000	1240
09:00:00	1080	1097	1030	21:00:00	1190	1030	1235
10:00:00	1100	1030	1100	22:00:00	1120	940	1120
11:00:00	1080	1050	1080	23:00:00	1100	1030	1100
12:00:00	1130	1060	1130	23:59:59	1085	1000	1112
				MÉDIA	1124	1037	1115

As Figuras 31 a 33 mostram as variações do Peso Litro do Clínquer, nos dias 26/11/05 (amostra "A"), 03/12/05 (amostra "B") e 10/12/05 (amostra "C"), respectivamente.

A Figura 31 mostra um processo instável, o qual, apesar de se manter dentro dos limites especificados por um período de tempo, não dispensa uma ação para a correção de causas especiais que estão influenciando na estabilidade do processo.

Nota-se que no período entre as 2:00h e as 17:00h, verificou-se certa estabilidade no processo.

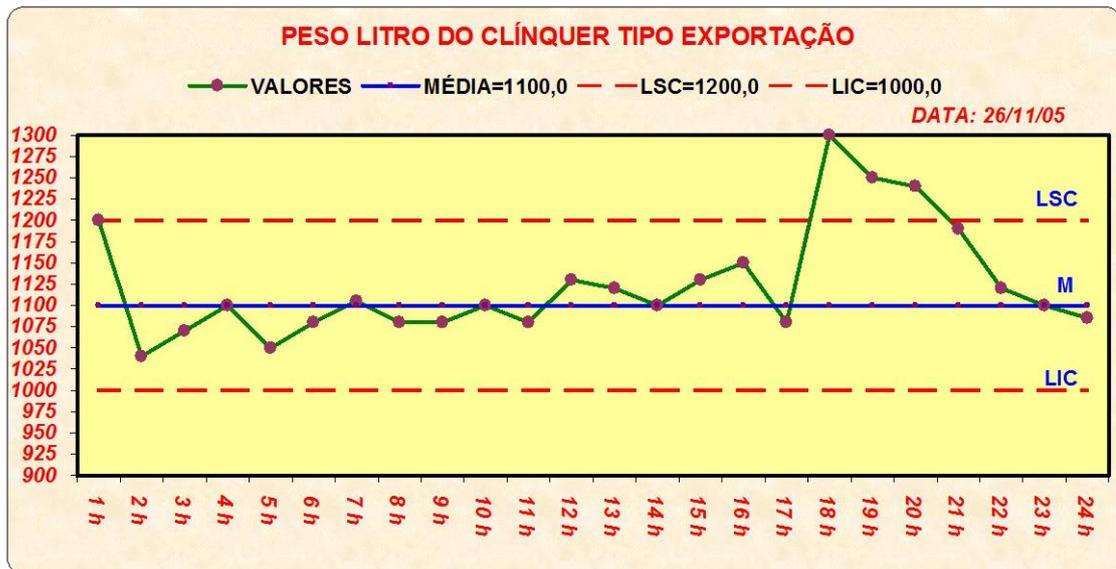


Figura 31- Peso Litro do Clínquer - A (Fonte: CIMESA, 2005)

A Figura 32 representa um processo fora dos limites de especificação, com tendência a se manter abaixo da linha média do limite especificado, necessitando das possíveis ações: redução da alimentação do forno, aumento da injeção de combustível no forno, acompanhamento do grau de descarbonatação da farinha, verificação do nível de oxigênio do forno e saturação da farinha.

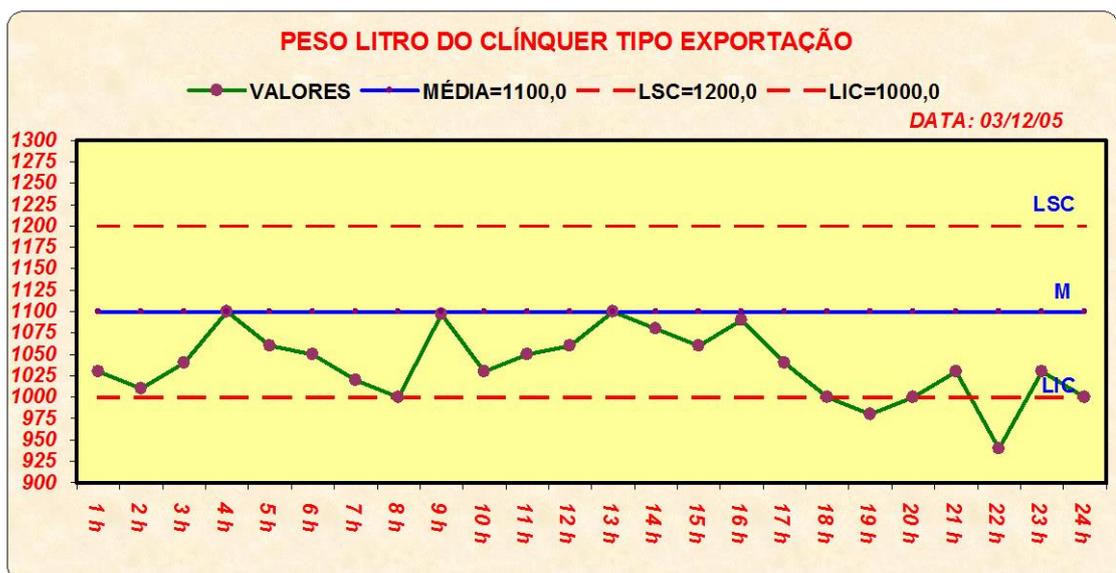


Figura 32 - Peso Litro do Clínquer - B (Fonte: CIMESA, 2005)

A Figura 33 também apresenta um processo fora dos limites de especificação, com tendência a se manter acima da linha média do limite especificado, necessitando das possíveis ações: aumento da alimentação do forno, redução da injeção de combustível no forno e melhor acompanhamento da saturação da farinha.

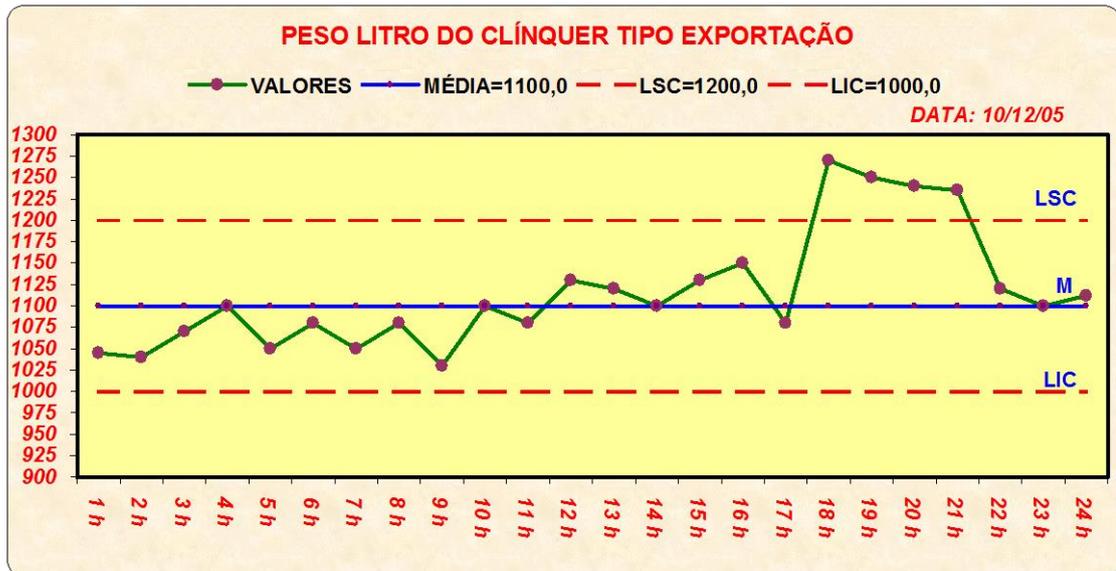


Figura 33 - Peso Litro do Clínquer - C (Fonte: CIMESA, 2005)

4.1.5 - Cal Livre (CaO Livre)

Normalmente a cal livre está presente no clínquer em até 2% do seu peso: sua presença se deve aos seguintes fatores:

- Farinha não homogênea ou com granulometria fora do padrão;
- Deficiência de queima;
- Resfriamento muito lento;
- Alto FSC – excesso de CaO na farinha.

Sua presença em quantidades acima de 2,1% é indesejável, pois pode causar expansibilidade na argamassa ou no concreto.

De acordo com a Tabela 4, foi calculado a Cal Livre (CaO Livre) com base nas amostras e clínquer retiradas do forno, em um período de 24 horas, em três dias escolhidos aleatoriamente.

Tabela 5 – Cal Livre - CaO Livre (Fonte: Laboratório CIMESA, 2005)

HORÁRIO	CAL LIVRE			HORÁRIO	CAL LIVRE		
	26/11	03/12	10/12		26/11	03/12	10/12
01:00:00	1,99	1,48	1,98	13:00:00	1,72	1,72	1,72
02:00:00	1,92	1,57	1,87	14:00:00	1,42	1,42	1,46
03:00:00	2,10	1,49	1,73	15:00:00	1,64	1,64	1,64
04:00:00	1,87	1,36	1,87	16:00:00	1,87	1,37	1,87
05:00:00	1,39	1,29	1,39	17:00:00	1,73	1,42	1,69
06:00:00	1,64	1,64	1,63	18:00:00	1,56	1,68	1,76
07:00:00	1,53	1,53	1,52	19:00:00	1,61	1,61	1,64
08:00:00	1,51	1,72	1,51	20:00:00	1,42	1,42	1,35
09:00:00	1,62	1,42	1,62	21:00:00	1,41	1,41	1,41
10:00:00	1,69	1,64	1,69	22:00:00	1,47	1,47	1,47
11:00:00	1,66	1,66	1,66	23:00:00	1,52	1,52	1,52
12:00:00	1,83	1,83	1,83	23:59:59	1,37	1,37	1,37
				MÉDIA	1,65	1,53	1,63

As Figuras 34 a 36 mostram as variações da Cal Livre do Clínquer, nos dias 26/11/05 (amostra “A”), 03/12/05 (amostra “B”) e 10/12/05 (amostra “C”), respectivamente.

A Figura 34 também apresenta um processo fora dos limites de especificação, e que merece uma atenção mais atuante no sentido de melhorar a amplitude das variações e trazer o processo para dentro dos limites especificados de controle.

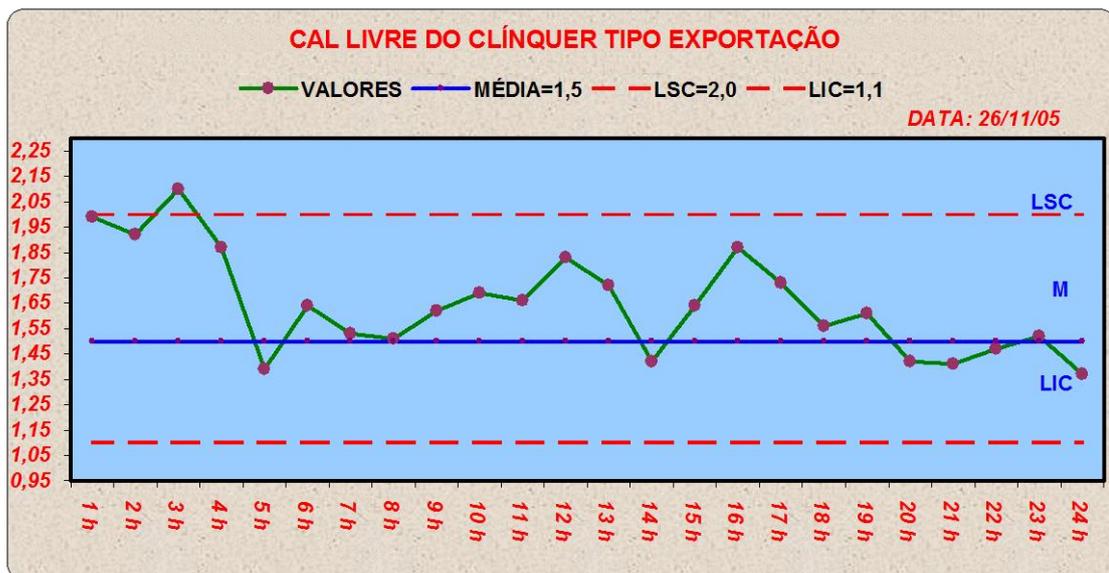


Figura 34 -Cal Livre do Clínquer - A (Fonte: CIMESA, 2005)

A Figura 35 mostra uma situação onde o processo se encontra sob controle estatístico; as variações ocorridas no período se concentram entre os limites de controle, não merecendo, portanto, nenhuma ação efetiva no processo.

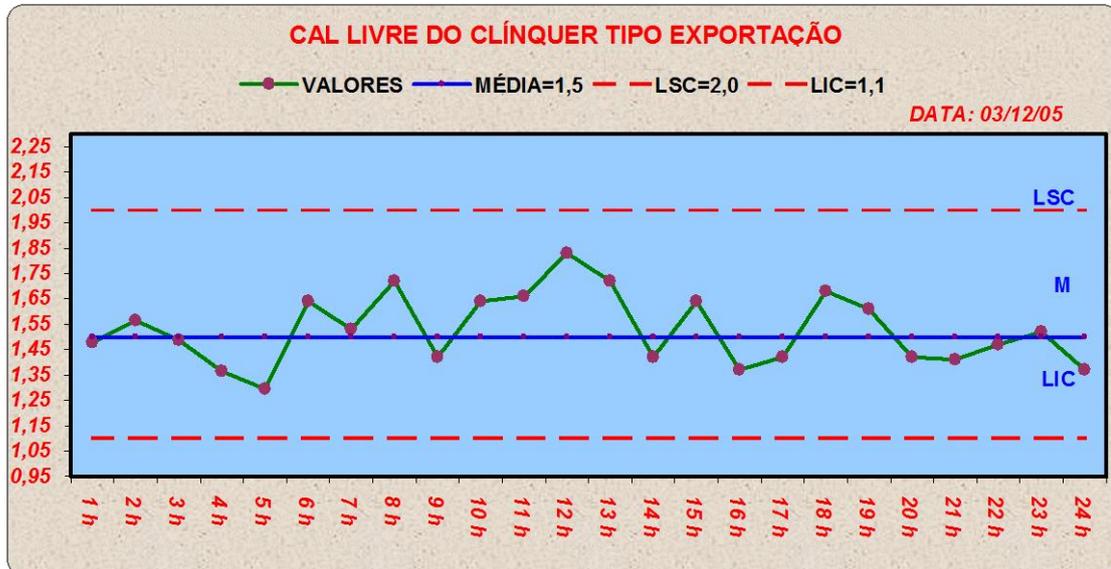


Figura 35 - Cal Livre do Clínquer - B (Fonte: CIMESA, 2005)

A Figura 36 mostra uma situação na qual o processo se encontra sob controle estatístico, apesar de estar operando com uma amplitude de variações tendenciosas acima e abaixo dos limites especificados, que não dispensam uma maior atenção no monitoramento desta variável.

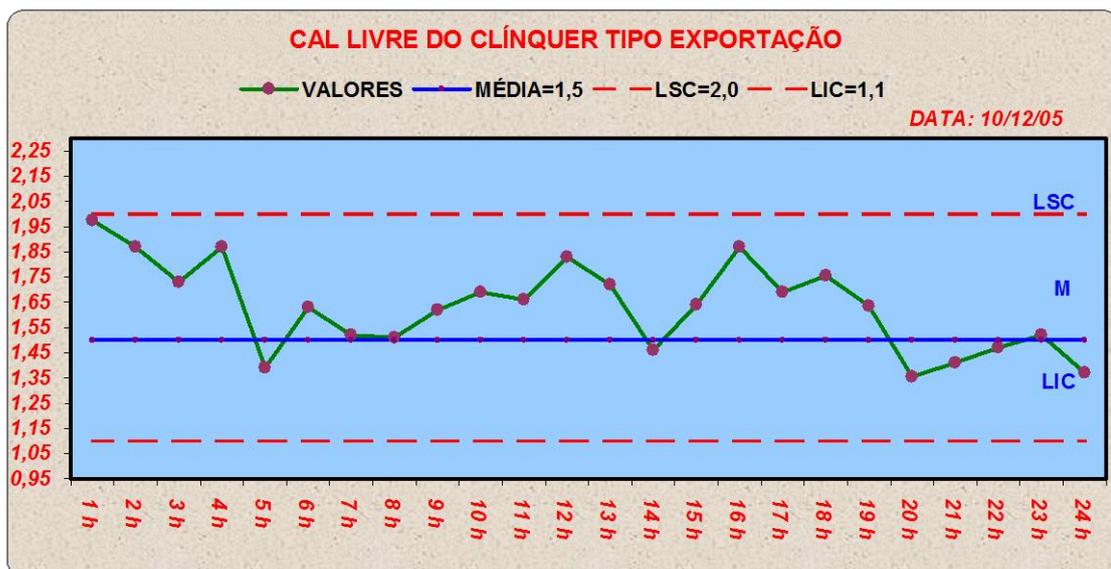


Figura 36 - Cal Livre do Clínquer - C (Fonte: CIMESA, 2005)

5. CONCLUSÃO

O objetivo fundamental de qualquer organização econômica é a maximização de seus lucros e a redução dos seus custos operacionais. Com base no estudo de caso apresentado, evidenciou-se que o uso de uma ferramenta estatística, no caso específico, as cartas de controles, mostrou-se eficiente no monitoramento das principais variáveis que englobam o processo de fabricação de clínquer, contribuindo de forma bastante positiva para o controle e o aprimoramento contínuo da qualidade do clínquer produzido na CIMESA.

Neste trabalho, aplicou-se as cartas de controle, analisando cinco variáveis críticas do processo: Fator de Saturação, Módulo de Sílica, Módulo de Alumínio, Peso Litro e Cal Livre, em um período aleatório. Com base nos gráficos relativos à essas variáveis, foi possível detectar qualquer tipo de variação, desejável ou não, possibilitando a ação imediata do ajuste no processo de fabricação de clínquer, evitando a produção não conforme, ou seja, fora da especificação.

Como foi observado no item 2.4.4, Figura 16 deste estudo, com base em dados históricos da empresa, constatou-se uma redução significativa na geração de produto não conforme, após a utilização das cartas de controle. Esta melhoria impactou numa redução dos custos de produção, bem como propiciou uma maior confiabilidade no seu processo, aumentando a sua capacidade de atendimento a seus clientes, tanto internos quanto externos.

Portanto, a aplicação desta ferramenta estatística simples, especificamente as cartas de controle, mostrou-se bastante eficaz no monitoramento do processo, sendo fator determinante para o sucesso da empresa, gerando aumento de produtividade, com redução de custos, tornando-a mais competitiva no cenário mundial.

REFERÊNCIAS

CANASSA, David. **Treinamento Básico CEP – Controle Estatístico de Processo**: Curitiba: Votorantim Cimentos, 2000. vol. único.

DAVIS, Mark M., AQUILANO, Nicholas J. e CHASE, Richard B. **Fundamentos da administração da produção**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2001. vol. 1.

JOHN, W. M. Peter. **Statistical methods in engineering and quality assurance**. New York: John Wiley & Sons, 1990, apud VALENTINA, 2003.

JURAN, J. M. Juran. **Planejamento para a Qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1990, apud VALENTINA, 2003. p25

KUME, Hitoshi. **Métodos estatísticos para a melhoria da qualidade**: São Paulo: Gente, 1993, apud VALENTINA, 2003. p26.

LOURENÇO FILHO, Rui de C. B. **Controle estatístico de qualidade**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1964. vol. 1, p28.

MICHEL, Renato e FOGLIATTO, Flávio S. **Projeto econômico de cartas adaptativas para monitoramento de processos**. Gest. Prod;., abr. 2002, vol. 9, nº. 1, p.17-31.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**: 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1997, apud VALENTINA, 2003.

PALADINI, E. Pacheco. **Qualidade total na prática**: Implantação e avaliação de sistemas da qualidade total. São Paulo: Atlas, 1997, apud VALENTINA, 2003, p29.

PYZDEK, Thomas. **Control charts interpretation In: The complete Guide to the CQE**. [S.l.]: Quality Publishing, 1996. Disponível em <<http://www.qualityamerica.com/knowledgecente/articles/CQEIVH3d.html>>. Acesso em 29 jan. 2003, apud VALENTINA, 2003.

SLACK, Nigel, CHAMBERS, Stuart, HARLAND, Chirstiane, HARRISON, Alan, JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 1ª. ed. São Paulo: editora Atlas, 1997. vol. único.

SOMMER, Willy A. Apostila: **Avaliação da qualidade**. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis: UFSC, 2000, apud VALENTINA, 2003.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. 1ª ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995. vol. 2. p13.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Criando a cultura seis sigma**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. vol. 1, 256p.