

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**ESTUDO DA VARIABILIDADE DA VISCOSIDADE  
NA PRODUÇÃO DE LOTES DE TINTAS – UM PROJETO SEIS SIGMA**

**Vivian Sebben Adami**

**Porto Alegre, 2002**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**ESTUDO DA VARIABILIDADE DA VISCOSIDADE  
NA PRODUÇÃO DE LOTES DE TINTAS – UM PROJETO SEIS SIGMA**

**Vivian Sebben Adami**

**Orientador: Professora Dra. Carla S. ten Caten**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Flávio Sanson Fogliatto**

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Simone Hickmann Flôres**

**Prof. Dr. Carlos Arthur Ferreira**

**Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia como  
requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade  
Profissionalizante – Ênfase em Qualidade e Desenvolvimento de Produto e Processo**

**Porto Alegre, 2002**

**Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Carla S. ten Caten**

Orientadora  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

**Prof<sup>a</sup>. Helena Beatriz Bettella Cybis**

Coordenadora  
Mestrado Profissionalizante em Engenharia  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Dr. Flávio Sanson Fogliatto**  
PPGEP/UFRGS

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Simone Hickmann Flôres**  
ICTA/UFRGS

**Prof. Dr. Carlos Arthur Ferreira**  
PPGEM/UFRGS

**Epígrafe**

## **AGRADECIMENTOS**

À Professora Dra. Carla S. ten Caten, minha orientadora, pelas contribuições valiosas ao longo do desenvolvimento deste trabalho, sem as quais não seria possível a conclusão deste trabalho.

À minha amiga e colega de trabalho Cenira Cristine Verona, pela colaboração e apoio durante o desenvolvimento do projeto, bem como pelas discussões e auxílio nas revisões do texto.

À minha amiga e grande colaboradora Renata Hemanuelle Pinto, pela dedicação na realização da coleta de dados e acompanhamento dos experimentos, bem como pelo incentivo recebido.

Aos demais colegas de trabalho, em especial do setor de produção da fábrica de tintas onde o estudo de caso foi realizado.

Ao Fernando, meu marido, e ao Pedro, meu filho, pela paciência, compreensão, estímulo e por fornecerem o apoio e as condições que possibilitaram a realização de meus estudos.

## ÍNDICE

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1       | COMENTÁRIOS INICIAIS.....                    | 15 |
| 1.1     | Introdução .....                             | 15 |
| 1.1.1   | A importância das tintas .....               | 15 |
| 1.1.2   | Competitividade no setor.....                | 16 |
| 1.2     | Tema e Objetivos .....                       | 17 |
| 1.3     | Justificativa .....                          | 18 |
| 1.4     | Método .....                                 | 20 |
| 1.5     | Limitações .....                             | 22 |
| 1.6     | Estrutura .....                              | 23 |
| 2       | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                  | 24 |
| 2.1     | Seis Sigma na Indústria Química .....        | 24 |
| 2.2     | A Metodologia Seis Sigma.....                | 25 |
| 2.3     | Conceito de Nível Sigma .....                | 27 |
| 2.4     | As Ferramentas para o Seis Sigma.....        | 30 |
| 2.4.1   | Mapeamento de Processos.....                 | 31 |
| 2.4.2   | Diagrama e Matriz de Causa e Efeito.....     | 32 |
| 2.4.3   | Análise do Sistema de Medição .....          | 33 |
| 2.4.4   | Controle Estatístico de Processo (CEP) ..... | 36 |
| 2.4.5   | Projeto de Experimentos (DOE).....           | 39 |
| 2.4.6   | Análise de Variância (ANOVA) .....           | 41 |
| 2.5     | Qualidade na Indústria de Tintas.....        | 43 |
| 2.5.1   | O que são Tintas .....                       | 43 |
| 2.5.2   | O Processo de Fabricação de Tintas .....     | 44 |
| 2.5.2.1 | Pesagem.....                                 | 44 |
| 2.5.2.2 | Pré-dispersão .....                          | 44 |
| 2.5.2.3 | Dispersão ou Moagem.....                     | 45 |
| 2.5.2.4 | Completagem .....                            | 46 |
| 2.5.2.5 | Acertos e Controle de Qualidade .....        | 47 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 2.5.2.6 | Filtração e Envase .....                                  | 47  |
| 2.5.2.7 | Sistemas Alternativos de Produção .....                   | 48  |
| 2.5.3   | Processos Modernos de Fabricação .....                    | 48  |
| 2.5.4   | Variabilidade dos processos .....                         | 49  |
| 2.5.5   | Viscosidade de Tintas .....                               | 50  |
| 3       | MODELO DE MELHORIA SEIS SIGMA .....                       | 53  |
| 3.1     | Definir o Projeto .....                                   | 53  |
| 3.2     | Medir o Defeito .....                                     | 54  |
| 3.3     | Analisar os Dados .....                                   | 54  |
| 3.4     | Aprimorar o Processo .....                                | 55  |
| 3.5     | Controlar o Processo .....                                | 55  |
| 4       | DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO, RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... | 57  |
| 4.1     | Particularidades do Processo de Fabricação .....          | 57  |
| 4.2     | Definição .....   | 60  |
| 4.2.1   | Características Críticas da Qualidade – CTQ’s .....       | 62  |
| 4.2.2   | Estimativa Financeira .....                               | 63  |
| 4.3     | Mensuração .....  | 64  |
| 4.3.1   | Mapeamento dos Processos .....                            | 64  |
| 4.3.2   | Análise do Sistema de Medição .....                       | 66  |
| 4.3.3   | Métricas de Oportunidades de Melhoria .....               | 69  |
| 4.3.4   | Planejamento da Coleta de Dados .....                     | 71  |
| 4.3.5   | Estabilidade do Processo .....                            | 73  |
| 4.3.6   | Características Críticas da Qualidade .....               | 81  |
| 4.3.7   | Capacidade do Processo .....                              | 82  |
| 4.4     | Análise .....   | 85  |
| 4.4.1   | Análise de Variância dos Processos .....                  | 85  |
| 4.4.2   | Diagrama de Causa e Efeito .....                          | 88  |
| 4.4.3   | Matriz de Causa e Efeito .....                            | 89  |
| 4.4.4   | Análise de Regressão .....                                | 90  |
| 4.5     | Aprimoramento do Processo .....                           | 92  |
| 4.5.1   | Planejamento do Experimento .....                         | 92  |
| 4.5.2   | Execução do Experimento .....                             | 96  |
| 4.5.3   | Avaliação da Viscosidade Final .....                      | 97  |
| 4.5.4   | Avaliação de Outros Resultados .....                      | 101 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 4.6 | Considerações sobre os Resultados..... | 103 |
| 4.7 | Controlar .....                        | 106 |
| 5   | COMENTÁRIOS FINAIS.....                | 108 |
| 5.1 | Conclusões .....                       | 108 |
| 5.2 | Sugestões para Trabalhos Futuros.....  | 110 |
|     | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....       | 111 |
|     | ANEXO 1 .....                          | 115 |
|     | ANEXO 2 .....                          | 116 |
|     | ANEXO 3 .....                          | 120 |
|     | ANEXO 4 .....                          | 121 |
|     | ANEXO 5 .....                          | 131 |
|     | ANEXO 6 .....                          | 141 |
|     | ANEXO 7 .....                          | 142 |
|     | ANEXO 8 .....                          | 143 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 Distribuição normal centrada com correspondentes níveis de defeitos. ....        | 28 |
| Figura 2.2 Distribuição normal deslocada com correspondentes níveis de defeitos. ....       | 28 |
| Figura 2.3 Exemplo de mapa de processo .....  | 31 |
| Figura 2.4 Diagrama de causa e efeito (Fonte: adaptada de Pande, 2001, p. 266).....         | 32 |
| Figura 2.5 Exemplo de matriz de causa e efeito.....   | 33 |
| Figura 2.6 Exemplo de cartas de controle (Fonte: adaptada de Ribeiro e Caten, 2000) .....   | 36 |
| Figura 2.7 Comparativo de curvas para diferentes $C_p$ 's .....                             | 38 |
| Figura 2.8 Comparativo das relações entre $C_p$ e $C_{pk}$ (Fonte: Montgomery, 1985).....   | 39 |
| Figura 4.1 Fluxograma do processo de produção de tintas .....                               | 58 |
| Figura 4.2 Número de lotes produzidos por produto (150 produtos diferentes) .....           | 59 |
| Figura 4.3 Carta de Projeto.....  | 61 |
| Figura 4.4 Mapa do processo de fabricação em moinho .....                                   | 65 |
| Figura 4.5 Mapa do processo de acerto de viscosidade.....                                   | 66 |
| Figura 4.6 Avaliação do sistema de medição atual .....                                      | 67 |
| Figura 4.7 Avaliação do novo sistema de medição .....                                       | 69 |
| Figura 4.8 Cartas de Controle para Z1 Geral: (a)Valor Individual e (b) Amplitude Móvel ...  | 74 |
| Figura 4.9 Carta de Controle para Z2 Geral: (a)Valor Individual e (b) Amplitude Móvel ..... | 75 |
| Figura 4.10 Carta de Controle para Z3 Geral: (a)Valor Individual e (b) Amplitude Móvel ...  | 75 |
| Figura 4.11 Carta de Controle para Z4 Geral: (a)Valor Individual e (b) Amplitude Móvel ...  | 76 |
| Figura 4.12 Carta de controle para Y2-Y1: (a)Valor Individual e (b) Amplitude Móvel .....   | 80 |
| Figura 4.13 Carta de controle para Y3-Y1: (a)Valor Individual e (b) Amplitude Móvel .....   | 80 |
| Figura 4.14 Carta de controle para Y4-Y2: (a)Valor Individual e (b) Amplitude Móvel .....   | 81 |
| Figura 4.15 Histograma relativo a análise de Capacidade para Z1, geral .....                | 83 |
| Figura 4.16 Histograma relativo a análise de Capacidade para Z3, geral .....                | 83 |
| Figura 4.17 Gráfico Boxplot para Z3 por tipo de processo (MNH).....                         | 86 |
| Figura 4.18 Gráfico ANOM para Z3 por tipo de moinho/processo .....                          | 87 |
| Figura 4.19 Diagrama de Espinha de Peixe.....   | 88 |
| Figura 4.20 Matriz de Causa e Efeito.....   | 90 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.21 Gráfico de Pareto para os efeitos padronizados ( $\alpha = 0,10$ ).....             | 98  |
| Figura 4.22 Papel de probabilidade normal para os efeitos padronizados ( $\alpha = 0,10$ )..... | 98  |
| Figura 4.23 Representação do experimento em forma de cubo .....                                 | 100 |
| Figura 4.24 Gráfico dos efeitos principais .....  | 100 |
| Figura 4.25 Análise dos resíduos: (a) gráfico de probabilidade normal; (b) histograma .....     | 101 |
| Figura 4.26 Gráfico de variação da viscosidade com o tempo .....                                | 105 |

## LISTA DE TABELAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tabela 1.1 | Tintas importadas e exportadas de 1998 a 2002, em milhões de dólares .....        | 17 |
| Tabela 2.1 | Tabela de conversão para o Nível Sigma .....                                      | 30 |
| Tabela 2.2 | Exemplo de tabela ANOVA .....   | 42 |
| Tabela 4.1 | Oportunidades de melhoria de viscosidade por acerto de cor .....                  | 70 |
| Tabela 4.2 | Oportunidades de melhoria de viscosidade por tipo de processo .....               | 71 |
| Tabela 4.3 | Pontos das cartas para valores individuais que representam causas especiais ..... | 76 |
| Tabela 4.4 | Resumo dos resultados .....   | 78 |
| Tabela 4.5 | Características Críticas da Qualidade para desempenho atual .....                 | 82 |
| Tabela 4.6 | Resumo dos resultados de Cp, CpK e % de Defeituosos .....                         | 84 |
| Tabela 4.7 | Fatores e respectivos níveis de variação .....                                    | 93 |
| Tabela 4.8 | Matriz dos experimentos, com seqüência real de execução .....                     | 96 |
| Tabela 4.9 | Resultados do DOE e demais informações coletadas .....                            | 97 |

## LISTA DE QUADROS

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Quadro 2.1 | Equações para cálculo de R&R .....  | 35  |
| Quadro 2.2 | Formulário para os cálculos.....  | 43  |
| Quadro 4.1 | Análise de Variância para Z3 x Processo (MNH).....  | 85  |
| Quadro 4.2 | Análise de Médias para Z3 x Processo (MNH).....   | 87  |
| Quadro 4.3 | Análise de Regressão para Z3 x Tamanho do lote/Volume da cuba do moinho..                           | 91  |
| Quadro 4.4 | Análise de Regressão para moinho 3P - Z3 x Tamanho do lote(gal)/Volume da cuba do moinho(gal) ..... | 91  |
| Quadro 4.5 | Matriz dos experimentos, com fatores codificados e não codificados .....                            | 95  |
| Quadro 4.6 | Estimativa dos efeitos e análise de variância para viscosidade .....                                | 99  |
| Quadro 4.7 | Fatores significativos para outras respostas e seus coeficientes.....                               | 102 |
| Quadro 4.8 | Análise de correlação entre as respostas.....   | 103 |
| Quadro 4.9 | Plano de Ação .....   | 106 |

## LISTA DE SIGLAS

|       |   |
|-------|---|
| ANOM  | Análise de médias   |
| ANOVA | Análise de variância  |
| CEP   | Controle estatístico de processo  |
| Cp    | Índice de capacidade potencial do processo  |
| Cpk   | Índice de capacidade nominal do processo  |
| CTQ   | Característica crítica da qualidade ( <i>Critical to quality</i> )                                |
| DMAIC | Definir, medir, analisar, aprimorar ( <i>improve</i> ) e controlar (ciclo de melhoria Seis Sigma) |
| DOE   | Projeto de experimentos ( <i>Design of experimets</i> )   |
| DPMO  | Defeitos por milhão de oportunidades  |
| DPU   | Defeitos por unidade  |
| LCI   | Limite de controle inferior   |
| LCS   | Limite de controle superior   |
| MM    | Massa de moagem   |
| MNH   | Moinho  |
| NV    | Não voláteis (teor de sólidos)  |
| OM    | Oportunidade de melhoria  |
| OP    | Ordem de produção   |
| PD    | Pré-dispersão   |
| PPM   | Partes por milhão   |
| R&R   | Reprodutibilidade e repetibilidade  |
| SM    | Sistema de medição  |
| X     | Fator de variação   |
| Y     | Resposta (resultado das mudanças em X)  |
| Z     | Variável reduzida (conversão da resposta Y em variável reduzida)                                  |

## RESUMO

Este trabalho de conclusão tem como tema a Qualidade Seis Sigma e a produção de tintas, com foco no parâmetro viscosidade. O objetivo principal é o estudo da variabilidade da viscosidade das tintas, com vistas à diminuição do número de desvios de viscosidade de lotes de produção e, conseqüentemente, do retrabalho e *lead-time* fabril.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a metodologia Seis Sigma, suas principais ferramentas, e sobre os processos de produção de tintas, suas fontes de variabilidade e possibilidades de melhoria. Na seqüência, foi conduzido o estudo de caso, realizado em uma tradicional fábrica de tintas da grande Porto Alegre. O estudo seguiu as etapas da metodologia Seis Sigma: definição, mensuração, análise, aprimoramento e controle.

Dos lotes de tinta analisados, 78,5% necessitaram de algum tipo de ajuste de viscosidade. A viscosidade das tintas, após a etapa de completagem, foi, em média, 5,3 vezes maior que a semi-amplitude da tolerância. O tempo médio de ajuste de viscosidade foi de 20 minutos, o dobro do tempo gasto caso fosse feita somente a medição da viscosidade. Analisando-se a viscosidade em segundos, a diferença entre a medição já com o solvente previsto, e a medição logo após a completagem, foi, em média, de 28 segundos. A etapa de acertos de cor e brilho proporciona um aumento médio na viscosidade de cerca de 6 segundos.

Observou-se que os processos de fabricação não eram estáveis e nem capazes de atender as especificações, sem a etapa de ajustes, sendo o pior processo o em moinho pequeno (1,5P), e o melhor, em processo mistura. O sistema de medição contribuía para a variabilidade da viscosidade e foi melhorado. Outros fatores influentes na variabilidade da viscosidade foram: o fluxo de moagem, a sistemática de lavagem dos moinhos e a instabilidade (aumento) da viscosidade com o tempo. Como etapa final, foram sugeridas melhorias para o processo, na forma de um plano de ação, contemplando todos os fatores de variação identificados.

**Palavras-chave:** Qualidade, Seis Sigma, Viscosidade, Tinta.

## ABSTRACT

This master thesis presents Six Sigma quality and coatings manufacturing, regarding viscosity parameter. The main objective is to study coatings viscosity variability in order to get higher proportion of batches in specification without adjustment, and then, reduce rework and lead-time.

The first step was a literature review about Six Sigma methodology, its statistical tools, and about coatings manufacturing process, its variability sources and improvement possibilities. Then, it was developed a case study in a traditional coatings producer, located in Porto Alegre. The research followed the Six Sigma phases: define, measure, analyze, improve and control.

A total of 78,5% of the coating batches analyzed were defectives, that is, they needed viscosity adjustments. After let down, the coatings viscosity were, as an average, 5,3 times higher than the half-range of tolerance. The average time to adjust the viscosity, by batch, was 20 minutes. That is twice the time spent to just measure viscosity. Considering viscosity in seconds, the average difference between the measure with or without the solvent for adjustment was 28 seconds. The color and gloss adjustment step increases the viscosity in 6 seconds.

Manufacturing processes were neither stable nor capable to comply viscosity specifications, without adjustment step. The worst process was in the small mill (1,5P) and the best was the mixture one. The viscosity measure system increased variability and was improved. Other influent factors were: dispersion flow, cleaning procedures and time viscosity variation (increment).

Finishing, process improvements were suggested, as a action plan, considering all the variation factors identified.

**Keywords:** Quality, Six Sigma, Viscosity, Coating, Paint.

# 1 COMENTÁRIOS INICIAIS

## 1.1 Introdução

### 1.1.1 A importância das tintas

A primeira técnica de recobrimento de superfície surgiu há cerca de 25000 anos, quando os povos antigos começaram a pintar seus corpos, utilizando terras coloridas, graxas ou carvão (Chafer, 1990). Desde então, a humanidade evoluiu muito, e com ela os materiais, técnicas e usos para os revestimentos conhecidos como tintas ou pinturas.

As tintas estão presentes em quase todos os bens que fazem parte do mundo atual. Conferindo principalmente propriedades estéticas e protetoras, são encontradas revestindo paredes, móveis, eletrodomésticos, carros e latas de refrigerante. Aplicações menos óbvias incluem revestimento de fios para motores elétricos, fitas cassete e de vídeo, e *compact disks*.

Embora o consumidor comum tenha noção do desempenho que determinada pintura deva ter, ele dificilmente conhece a tecnologia empregada no desenvolvimento, produção e aplicação destes materiais. Entre as ciências envolvidas, pode-se citar: química orgânica e inorgânica, química de polímeros, eletroquímica, química de superfície, físico-química e química de colóides (Fazenda, 1993).

As tintas são formuladas com características específicas conforme o uso ao qual se destinam. Assim, a composição de uma tinta depende do tipo de substrato sobre o qual será aplicada, da técnica de aplicação e secagem utilizada, do tipo de ambiente e condições de

serviço em que o produto final será submetido, e também de limitações de custo associadas.

Uma tinta para pintura de aviões, por exemplo, deve ser capaz de suportar variações de temperatura de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$ , e ainda assim se conservar íntegra e perfeitamente aderida ao metal base. Tintas para pintura de parede, conhecidas por “látex”, devem ter boa fluidez para serem processadas, mas é interessante que, no momento de sua transferência, do rolo para o teto, respinguem o menos possível. Todo este universo de necessidades diferentes é que fazem das tintas um ramo complexo e diversificado.

O segmento de tintas pode ser classificado em 3 grandes categorias: tintas arquitetônicas ou decorativas, para decoração e proteção de construções, interna e externamente; tintas para pintura de equipamentos originais, englobando os chamados mercados de tinta industrial e OEM (*Original Equipment Manufactures*); e as tintas para fins especiais, que incluem repintura de automóveis, demarcação de rodovias, pintura de navios e tintas para manutenção de pontes e tanques de armazenagem (Wicks, Jones e Pappas, 1992).

Atualmente os principais desafios tecnológicos nessa área estão relacionados ao desenvolvimento de tintas de menor impacto ambiental e, ao mesmo tempo, de melhor *performance* e a preços competitivos.

### 1.1.2 Competitividade no setor

A globalização, sem dúvida, constitui o grande paradigma desta última década. Ao contrário de outros fenômenos históricos, como as revoluções e as guerras mundiais, os seus reflexos são imediatos e universais. A integração dos mercados em uma grande aldeia global, com abertura dos Estados ao comércio e ao capital internacional, afeta não apenas processos históricos, mas o dia a dia dos agentes econômicos e dos consumidores. Como consequência, duas faces da mesma moeda: de um lado a maior concorrência de produtos importados, e de outro, a ampliação do tamanho do mercado a desfrutar, ambos contribuindo para o acirramento da competição entre as empresas.

No caso específico da indústria de tintas no Brasil, com um mercado que ultrapassou, em 2001, a casa de 1 bilhão de litros, esse aumento de competitividade do mercado tem sido bastante marcante (Quadro, 2001). O crescimento do número de pequenos fabricantes e o estabelecimento de multinacionais de alta tecnologia no país, de forma independente, ou através de associações com empresas nacionais, têm contribuído para uma queda considerável

nos preços dos produtos e, conseqüentemente, nas margens de lucro. Segundo a Associação Brasileira de Fabricantes de Tintas (2001), o parque industrial do setor conta atualmente com 320 empresas, sendo 10% delas multinacionais (Indústrias, 2001).

Também a importação de tintas vem crescendo gradativamente desde 1992, quando foi iniciada a abertura do mercado, devido principalmente às exigências do consumidor quanto à qualidade (Equipamentos, 1997). Na Tabela 1.1, podem ser visualizados os números mais recentes relativos aos montantes de importação e exportação do setor.

*Tabela 1.1 Tintas importadas e exportadas de 1998 a 2002, em milhões de dólares*

| <b>A INDÚSTRIA DE TINTAS E VERNIZES - BALANÇA COMERCIAL BRASIL - US\$ MIL - TOTAL</b> |            |         |         |         |                 |          |            |        |        |        |                 |          |          |        |
|---|------------|---------|---------|---------|-----------------|----------|------------|--------|--------|--------|-----------------|----------|----------|--------|
|   | IMPORTAÇÃO |         |         |         |                 |          | EXPORTAÇÃO |        |        |        |                 |          |          |        |
|   | EFETIVA    |         |         |         | PRELIMINAR 2002 |          | EFETIVA    |        |        |        | PRELIMINAR 2002 |          |          |        |
|   | 1998       | 1999    | 2000    | 2001    | 1º TRIM.        | 2º TRIM. | TOTAL      | 1998   | 1999   | 2000   | 2002            | 1º TRIM. | 2º TRIM. | TOTAL  |
| <b>TOTAL</b>  | 118.030    | 116.351 | 125.544 | 133.338 | 26.343          | 30.202   | 56.545     | 63.787 | 55.425 | 52.642 | 60.143          | 10.976   | 11.962   | 22.938 |

*(Fonte: adaptada de sistema ALICE-SECEX/DECEX/SERPRO – Dept. Econômico – SITIVESP)*

Contrapondo a idéia lógica, esta “supercompetitividade” vigente pode ser bastante benéfica. A adaptação das empresas a este novo cenário as leva, necessariamente, a uma reorganização dos modos de produção e gestão dos negócios. Reorganização esta, que passa pelo aumento da produtividade e pela melhoria dos padrões de qualidade e eficiência dos bens e serviços, e culmina com a diminuição dos custos de produção.

## **1.2 Tema e Objetivos**

O tema deste trabalho de conclusão é a Qualidade Seis Sigma e a produção de tintas, com foco no parâmetro viscosidade. O objetivo principal é o estudo da variabilidade da viscosidade das tintas, com vistas a sua redução e conseqüente diminuição do número de desvios de viscosidade de lotes de produção de uma fábrica de tintas.

Como objetivos específicos, podem ser citados:

- Descrever e mapear os processos industriais e etapas envolvidas na fabricação de tintas;
- Realizar um diagnóstico do sistema de medição e implantar ações de melhoria;
- Determinar a estabilidade e capacidade da viscosidade, para o processo atual de fabricação;

- Identificar as relações de causa-efeito e comprovar, ou não, a influência dos parâmetros de processo sobre a viscosidade;
- Sugerir melhorias para redução da variabilidade na viscosidade.

O estudo é desenvolvido tendo como único cenário uma tradicional fábrica de tintas industriais, localizada na grande Porto Alegre.

### **1.3 Justificativa**

Muitas indústrias químicas, como a indústria alvo deste estudo, operam em sistema de bateladas. Este tipo de sistema produtivo, composto por uma série de operações unitárias nas quais as matérias-primas são convertidas em um produto final, costuma ser bastante suscetível a variações de processo. A produção em lotes geralmente envolve um número grande de ingredientes e vários estágios discretos de processo, o que inclusive dificulta o rastreamento e a coleta de dados e informações pertinentes (Mock, 1992).

A redução da variabilidade dos processos vem sendo considerada prioridade de negócio por estas empresas. Além de ser fundamental na melhoria da qualidade dos produtos, proporciona outros benefícios, como maior conhecimento dos processos, maior envolvimento dos funcionários e menores tempos de ciclo (Mock, 1992).

Embora muitas vezes seja difícil isolar ou prever o efeito da variabilidade de um parâmetro específico de processo, variações na qualidade final dos produtos podem ser medidas, estratificadas e analisadas, fornecendo base para estudos e ações de melhoria.

Em uma fábrica de tintas, a viscosidade é um dos parâmetros mais importantes e mais utilizados como teste de liberação de produtos. Muitas vezes, a viscosidade acaba inclusive definindo outras características e impactando diretamente no custo do produto.

Na indústria em questão, por vários anos, os desvios de viscosidade dos lotes de tinta têm sido responsáveis pelo grande número de retrabalhos envolvidos no processo produtivo. Os retrabalhos, que acabam consumindo uma parcela considerável das atividades dos setores de Produção e Desenvolvimento, implicam também em gastos adicionais de matéria-prima (não previstos e, portanto não computados no custeio das fórmulas), e em ocupação de operadores e equipamentos para execução de ajustes, resultando em aumento do *lead-time* fabril.

Segundo Rooney (1991), a maior parte dos fabricantes de tinta gasta mais tempo testando os lotes que os manufaturando. Assim, além do prejuízo à qualidade, os ajustes também aumentam os custos. Obviamente, quanto mais ajustes, mais testes e maiores custos de controle de qualidade. De forma equivalente, um maior tempo de ciclo significa um inventário de produtos intermediários maior, demandando um aumento correspondente em capacidade de tanques e assim, aumentando também os custos de capital.

As políticas de controle de qualidade da indústria de tintas, até pouco tempo atrás, se limitavam a corrigir os produtos defeituosos e ignoravam o processo que havia gerado os defeitos. O retrabalho de lotes é consequência da variabilidade de processos e materiais, bem como de formulações deficientes, os quais se combinam resultando em um produto sem qualidade (Rooney, 1991).

Vários estudos já foram realizados na empresa alvo deste trabalho, tanto pela área de Desenvolvimento de Produto, quanto pelo setor de Produção, visando a redução destes desvios de viscosidade. Na maioria das vezes, as ações derivadas eram modificações nas fórmulas, de modo a centralizar o processo. Porém, todos estes trabalhos anteriores foram aparentemente ineficazes, ou serviram apenas para a correção de desvios grosseiros, pois, decorrido algum tempo, os mesmos produtos apresentavam novamente desvios.

A hipótese inicial, baseada no conhecimento sobre o processo em si, é de que na verdade este não é capaz. Assim, através do estudo de caso, espera-se conhecer melhor o desempenho do processo, isto é, verificar cientificamente a sua capacidade e limitações, de modo a identificar-se o tipo de ação mais adequada a ser tomada.

Conforme Rooney (1991), a implementação de programas de prevenção de defeitos compreende primeiramente estratégias de qualidade voltadas para o desenvolvimento de formulações mais robustas e processos mais consistentes, sob responsabilidade dos gerentes de Produção, Suprimentos e Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), fora da área tradicional de Controle de Qualidade (CQ). Em segundo lugar, são necessárias mudanças em treinamento, sendo requeridos conhecimentos em métodos de resolução de problemas e técnicas estatísticas. Ferramentas estas que não são exatamente as mesmas que funcionam bem em fabricação de peças. Isto é, elas devem ser adaptadas à indústria de tintas, sendo necessária maior ênfase em Mapeamento de Processos, Gráfico de Pareto, Diagrama de Espinha de Peixe, Estatística de Amostra Pequena, Projeto de Experimentos, Pré-controle e Controle

Estatístico de Processo.

Neste sentido, grandes fabricantes do ramo químico têm recorrido ao uso de uma metodologia moderna, conhecida como Qualidade Seis Sigma, ou apenas Seis Sigma.

O Seis Sigma pode ser visto em 3 contextos diferentes: como uma métrica, significando 3,4 defeitos por milhão de oportunidades de ocorrência e proporcionando a padronização dos processos de medição; como uma metodologia, com estrutura lógica e seqüencial para conduzir à melhoria dos processos – contexto utilizado neste estudo; e como uma filosofia, perseguindo a excelência operacional e fornecendo a visão, o foco e direção para a empresa (Martens, 2001).

A essência da Qualidade Seis Sigma é reduzir a variabilidade, e assim os defeitos e os custos. Isto é, o foco é produzir com custos baixos e ter níveis extremamente baixos de falhas. Embora não haja novidades nos métodos estatísticos empregados, o enfoque é realmente novo. O Seis Sigma acrescenta considerável valor ao fazer a formalização do uso das ferramentas estatísticas de maneira integrada, evitando utilizá-las isoladas e individualmente em um caminho desconexo. Além disto, permite conhecer os processos e o impacto de fatores casuais que os afetam, possibilitando a atuação nas verdadeiras causas-raízes dos problemas (Campos, 2001).

#### **1.4 Método**

Essa pesquisa é classificada, quanto a sua natureza, como Pesquisa Aplicada, uma vez que é orientada à geração de conhecimentos para aplicação na resolução de um problema específico – a redução da variabilidade da viscosidade. Quanto ao tipo de abordagem, trata-se, sem dúvida, de uma Pesquisa Quantitativa, pois envolve uma série de análises numéricas, com ênfase na utilização de técnicas estatísticas (Silva e Menezes, 2000). O trabalho segue uma metodologia de forte base estatística, conhecida como Seis Sigma, atualmente em uso nas grandes corporações mundiais, e recentemente introduzida na empresa em questão (Campos, 2001).

A adoção da metodologia Seis Sigma proporciona a utilização sistemática de método científico para a redução da variabilidade da viscosidade de tintas, objetivando a diminuição do número de desvios de viscosidade de lotes de produção de tintas e, conseqüentemente dos custos associados.

Em relação aos seus objetivos, esta pesquisa é classificada como Pesquisa Explicativa, pois visa identificar os fatores que contribuem para a ocorrência de um fenômeno, no caso, dos desvios ou variação da viscosidade (Silva e Menezes, 2000).

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, diz-se que a pesquisa é de cunho experimental, ou seja, a partir da determinação do objeto de estudo, selecionam-se as prováveis variáveis influentes e, a seguir, definem-se as formas de controle e de observação dos seus efeitos. A pesquisa também é definida como Estudo de Caso, pois envolve o estudo exaustivo de um problema específico, de modo a conhecê-lo profundamente (Silva e Menezes, 2000).

A elaboração deste trabalho de conclusão é feita a partir de 7 etapas principais. A primeira delas consiste em revisão bibliográfica, com ênfase na metodologia Seis Sigma, seu uso na indústria química, e nas principais ferramentas estatísticas empregadas neste método. Também são pesquisadas referências sobre processos de produção de tinta e sua avaliação, de maneira a formar uma base de conhecimento sobre os assuntos que fazem parte do estudo.

A partir da segunda etapa, é desenvolvido o estudo de caso, que segue os cinco módulos propostos pela metodologia Seis Sigma – definir, medir, analisar, aprimorar e controlar. Assim, a segunda etapa justamente trata do módulo Definir, onde são definidos os alcances e limites do projeto e o que é considerado um desempenho inaceitável ou um defeito. Também são nomeados o líder do projeto, sua equipe, e é feita uma estimativa do seu impacto financeiro. A autora atua como líder do projeto, que conta também com a participação operacional dos setores de Produção e Laboratório de Desenvolvimento, este último, responsável pela manutenção das fórmulas dos produtos atuais e alinhamento de produtos novos.

Na terceira etapa, é desenvolvido o módulo Medir, que compreende a elaboração do mapeamento do processo, a análise do sistema de medição, a avaliação da estabilidade e capacidade do processo, e a coleta de dados complementares relacionados às possíveis causas de variação.

O módulo Analisar constitui a quarta etapa, quando é feita a identificação dos prováveis fatores de variação, através do uso de ferramentas como diagrama e matriz de causa e efeito, análise de variância e análise de regressão.

A quinta etapa aborda o módulo Aprimorar, ou seja, a otimização das características dos produtos visando atingir os alvos de desempenho técnico e financeiro. É realizada através da confirmação dos fatores de variação e da quantificação do efeito destes fatores nas características dos produtos, utilizando-se Projeto de Experimentos (Design of Experiments – DOE).

A sexta etapa envolve o módulo Controlar, onde, a partir dos resultados do estudo de caso, são sugeridas melhorias a serem implementadas e pontos interessantes para investimentos futuros, apresentados no formato de um Plano de Ação. A implantação de melhorias deve culminar na preparação de planos de controle e atualização da documentação, a fim de garantir a repetitividade do processo, isto é, garantir que os fatores influentes nas respostas fiquem dentro de uma determinada tolerância de processo.

Como última etapa, são apresentadas as conclusões do estudo, bem como sugestões para o desenvolvimento de outros possíveis trabalhos complementares.

## **1.5 Limitações**

O trabalho se restringe a desvios apenas do parâmetro viscosidade de tintas, assim, embora possam haver causas em comum, não serão considerados outros tipos de desvios, como por exemplo, de cor e brilho.

Outra limitação relativa à viscosidade, diz respeito ao método de medição utilizado. Só fazem parte deste estudo produtos cuja viscosidade é determinada em viscosímetro de orifício, do tipo Copo Ford#4 (ver seção 2.5.5), que é o método utilizado para avaliação da grande maioria dos lotes.

O estudo de caso envolve apenas os tipos de produto e processo fabricados/utilizados na planta da empresa em questão, portanto, os resultados e conclusões podem não ser aplicáveis a outras empresas do ramo. As indústrias de tintas podem ter diferentes características entre si, em função principalmente do perfil de produção, isto é, do tipo de produto e volumes produzidos, e da tecnologia de fabricação utilizada.

Os experimentos executados diretamente na produção são limitados em número e frequência, principalmente pela disponibilidade restrita dos equipamentos. Como não há uma produção frequente de lotes iguais e, como cada lote leva cerca de 2 dias para sua produção, a

execução de projetos com muitas variáveis seria praticamente inviável.

Não são avaliadas implantações de melhorias, mas é feito apenas o levantamento do que seria necessário modificar para se atingir os níveis desejados. A implementação de melhorias envolveria uma série de aspectos financeiros e conjunturais da empresa, que fogem do escopo deste trabalho. Desta maneira, o trabalho limita-se apenas a sugerir, à alta administração e aos “donos” do processo, uma série de ações de melhoria, de modo que estes possam analisar a sua viabilidade e decidir pela implantação, ou não, ou pelo melhor momento para fazê-lo.

## **1.6 Estrutura**

Essa dissertação é dividida em cinco capítulos de modo a permitir o encadeamento lógico do trabalho.

No primeiro capítulo é apresentada uma visão geral do trabalho, incluindo o tema da pesquisa, os objetivos e resultados esperados, a metodologia a ser utilizada, e as limitações relacionadas.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica da metodologia Seis Sigma, dos principais métodos estatísticos que a compõe, e também sobre processos de produção de tinta e sua avaliação.

No capítulo 3 são descritos cada um dos 5 módulos da metodologia Seis Sigma – Decidir, Medir, Analisar, Aprimorar, Controlar.

O capítulo 4 apresenta o estudo de caso, ou seja, o estudo da variabilidade de viscosidade aplicado à produção de tintas, compreendendo a descrição detalhada do problema e do processo atual de produção e controle de lotes. São apresentadas as métricas e análises realizadas, os meios utilizados, bem como, os experimentos executados e os resultados obtidos. Na seqüência, são feitas algumas considerações sobre os resultados e são recomendadas e planejadas ações de melhoria.

No capítulo 5 são apresentados os comentários finais do estudo. Inclui-se aqui a conclusão, constando de um breve resumo das etapas anteriores e de um balanço dos resultados obtidos no estudo de caso, e suas interpretações. A seguir, com base na conclusão, são feitas sugestões para trabalhos futuros relacionados a este tema.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Seis Sigma na Indústria Química**

Muitas vezes se discute a aplicabilidade das ferramentas da qualidade, amplamente utilizadas e consagradas na indústria mecânica, na indústria química. No caso específico do segmento de tintas, Ronney (1991) aponta a necessidade de adaptações das ferramentas tradicionais.

Recentemente, surgiu uma metodologia com potencial para atender também as necessidades da área química. Esta metodologia, conhecida como Seis Sigma, embora relativamente nova, vem sendo adotada por um número cada vez maior de indústrias químicas (Schmitt, 2001; Van Arnum, 2001). Entre elas, citam-se dois grandes fabricantes mundiais de tintas, a DuPont, que já dispõe inclusive de programas avançados (Schmitt, 2001), e a PPG, onde o método foi integrado a já bem sucedida e estabelecida cultura da empresa (Challener, 2001).

Descrições do planejamento Seis Sigma de outras grandes indústrias químicas que adotaram a técnica, tais como Dow Chemical, Crompton, Huntsman, Albemare, Rohm & Haas, entre outras, podem ser encontradas em Chalenner (2001). Observa-se que a abordagem dada pelas grandes corporações é bem mais ampla e intensa que a dada por companhias menores. Estas últimas, com recursos mais limitados, estão sendo cautelosas, introduzindo a metodologia mais lentamente, por unidades de negócio (Chalenner, 2001; Schmitt, 2001).

Os principais benefícios decorrentes da implantação da metodologia têm sido, além da redução de defeitos, a melhoria do atendimento a clientes e o aumento significativo dos ganhos monetários (Wood, 2001; Schmitt 2001). O desafio agora é ser capaz de medir estes benefícios com maior acurácia e garantir que eles sejam sustentáveis (Wood, 2001).

Vale lembrar que o Seis Sigma, por si só, não é garantia de sucesso. Reduzir o nível de defeitos é bastante desejável, mas existem outros aspectos que também devem ser considerados, e que, em determinadas situações, podem ser prioritários. Assim, enquanto muitas empresas estão ganhando dinheiro com programas de redução de erros, várias outras estão despendendo tempo e recursos valiosos, em algo que talvez não traga benefícios tangíveis para os acionistas (Clifford, 2001).

Como críticas ao uso do Seis Sigma citam-se também um possível “bloqueio” da criatividade na área de Pesquisa e Desenvolvimento e o fato do programa não oferecer soluções realmente inovadoras (Sauer, 2001; Martens, 2001). Também é importante salientar que, para que se obtenha sucesso com a aplicação de técnicas estatísticas na produção química, é necessário combinar as técnicas estatísticas com o conhecimento do processo tecnológico envolvido (Schall, 1982).

## **2.2 A Metodologia Seis Sigma**

Pode-se dizer que o Seis Sigma teve sua origem em 1981, quando a Motorola empreendeu uma iniciativa de qualidade, que tinha como meta, para 5 anos, aumentar seu desempenho em 10 vezes. Enquanto os executivos trabalhavam para cortar desperdícios, Bill Smith, um engenheiro, estudou a correlação entre o número de falhas existentes nos produtos no processo produtivo e o número de falhas nos clientes. Smith verificou que a redução dos custos de garantia dependiam da eliminação de falhas no processo de manufatura. Estas constatações, associadas aos resultados de *benchmarking* junto às melhores empresas, levaram a Motorola a estabelecer, em janeiro de 1987, a meta de alcançar Seis Sigma em 1992 (Campos, 2001).

A partir daí outras empresas aderiram à metodologia: Texas Instruments em 1988, IBM em 1990, ABB em 1993, AlliedSignal e Kodak em 1994, General Electric em 1995, Whirlpool, PACCAR, Invensys e Polaroid em 1996 a 1998, Ford, American Express, DuPont, LG, Sony e Samsung a partir de 1999, entre outras.

A redução da variabilidade já foi exaustivamente defendida pelos grandes nomes da qualidade, como Shewhart, Deming, Shainin, Juran e Taguchi, dando base para o chamado pensamento estatístico. O pensamento estatístico considera que todo o trabalho é uma série de processos, todos os processos têm variabilidade e toda variabilidade tem causas. Estas causas necessitam ser conhecidas e, uma vez conhecidas, devem ser reduzidas e controladas (Campos, 2001).

Neste sentido, a Qualidade Seis Sigma é considerada atualmente a abordagem mais moderna e completa para o aumento da qualidade de produtos e serviços. Agrupando as principais técnicas estatísticas para redução da variabilidade em um contexto único, o Seis Sigma tem se mostrado a metodologia mais poderosa e eficiente para a redução drástica de falhas, permitindo o aprimoramento de processos de forma estruturada, consistente e duradoura (Campos, 2001).

O Seis Sigma seria mais uma evolução que uma revolução, pois não é tão diferente das metodologias para a qualidade em voga nos últimos 20 anos. Ele se diferencia por enfatizar fortemente o entendimento das exigências dos clientes, por um foco financeiro intenso e pelo rigor e disciplina na tomada de decisões com base em dados (Martens, 2001).

Entre os benefícios do emprego da estratégia Seis Sigma, pode-se citar (Pande, 2001):

1. Gera o sucesso sustentado, através do desenvolvimento de habilidades e cultura para um revigoramento constante das organizações.
2. Determina uma meta de desempenho para todos, com base no processo e no cliente, comuns às várias áreas da empresa: o desempenho Seis Sigma.
3. Intensifica o valor para o cliente. Auxilia a aprender o que significa valor para o cliente e a planejar como oferecer isto de modo lucrativo.
4. Acelera a taxa de melhoria. O Seis Sigma ajuda não somente a melhorar o desempenho, mas também agiliza o processo de melhoria.
5. Promove aprendizagem e “polinização cruzada” uma vez que normalmente aumenta e acelera o desenvolvimento e o compartilhamento de novas idéias por toda a organização.
6. Executa mudanças estratégicas. Uma melhor compreensão dos processos e procedimentos proporciona uma maior capacidade de promover ajustes ou mudanças maiores dentro da

empresa.

O detalhamento sobre o modelo de melhoria Seis Sigma é apresentado no Capítulo 3.

### **2.3 Conceito de Nível Sigma**

O Seis Sigma utiliza o nível Sigma como forma de medir a qualidade dos processos. Essencialmente, o nível Sigma é a medida estatística da taxa de falhas. Um valor de sigma baixo, como, por exemplo, 1, significa que as falhas são extremamente elevadas – probabilidade de 317.311 falhas a cada milhão produzidos. Quando o nível sigma é alto, como 6, as falhas são extremamente raras – 0,002 falhas a cada milhão de itens produzidos (Campos, 2001).

Na verdade, se analisam processos, cujas características supostamente seguem uma distribuição normal, comparando-se a sua média e desvio-padrão em relação à especificação e calculando-se a probabilidade deste processo gerar itens defeituosos (fora dos limites especificados). Assim, trabalhar com nível sigma 6 significa que a variabilidade do processo é tão pequena que cabem 12 desvios-padrão, ou +/- 6 sigma em relação à média, dentro dos limites de especificação do processo, correspondendo a uma probabilidade de geração de 0,002 partes por milhão (ppm) de defeitos.

A Motorola, em seu trabalho pioneiro, levou em consideração que degradações de desempenho a longo prazo, como desgaste de ferramentas, mudanças nas condições operacionais e variações climáticas podem deslocar o centro do processo ao longo do tempo, e que, um deslocamento de até 1,5 sigma seria normal e justificável. A partir desta observação, considera-se que um processo que tenha +/- 6 sigma seja equivalente, a longo prazo, a um com +/- 4,5 sigma, gerando então 3,4 ppm de defeituosos. Isto é, tem-se dois alvos para o processo, um com processo centrado e outro deslocado em +/-1,5 sigma (Campos, 2001).

Na Figura 2.1 e Figura 2.2 é possível visualizar as distribuições normais, centrada e deslocada de 1,5 Sigmas, e os correspondentes percentuais de defeitos e ppm's, para os níveis Sigma de 1 a 6.

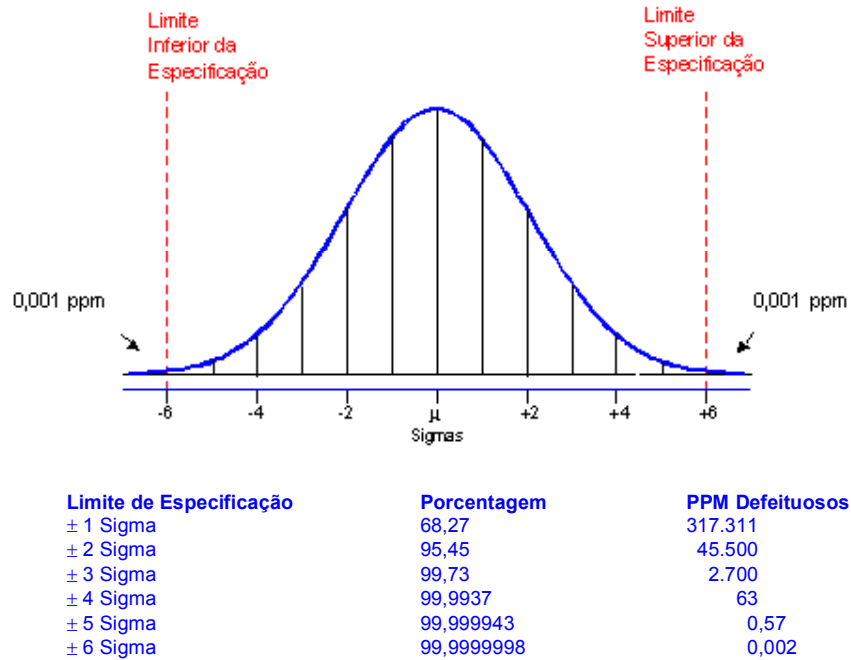


Figura 2.1 Distribuição normal centrada com correspondentes níveis de defeitos.

(Fonte: adaptada de Campos, 2001, Módulo Medir)

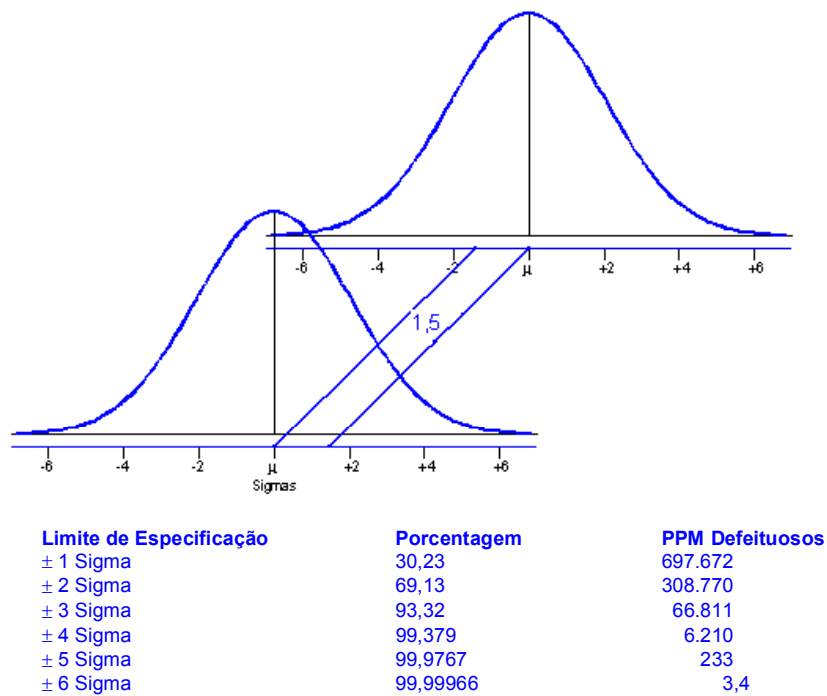


Figura 2.2 Distribuição normal deslocada com correspondentes níveis de defeitos.

(Fonte: adaptada de Campos, 2001, Módulo Medir)

O nível sigma pode ser calculado utilizando-se as equações 1 e 2. A Equação 1 calcula o DPU (defeitos por unidade), que depois é utilizado na Equação 2, para o cálculo do DPMO (defeitos por milhão de oportunidades).

$$DPU = \frac{\text{número total de defeitos}}{\text{número total de unidades produzidas}} \quad \text{Equação 1}$$

$$DPMO = \frac{DPU * 1000000}{\text{total de oportunidades de erro em uma unidade}} \quad \text{Equação 2}$$

O DPMO é então relacionado com o nível sigma, conforme descrito anteriormente. É comum o uso de tabelas, como a Tabela 2.1, que relacionam o nível sigma com o DPMO, para distribuições centradas e deslocadas.

Tabela 2.1 Tabela de conversão para o Nível Sigma

| Distribuição Centrada |               |             | Distribuição Deslocada |               |            |
|-----------------------|---------------|-------------|------------------------|---------------|------------|
| sigma                 | rendimento(%) | ppm         | sigma                  | rendimento(%) | ppm        |
| 1,0                   | 68,2689480    | 317.310,520 | 1,0                    | 30,23279      | 697.672,15 |
| 1,1                   | 72,8667797    | 271.332,203 | 1,1                    | 33,99171      | 660.082,92 |
| 1,2                   | 76,9860537    | 230.139,463 | 1,2                    | 37,86216      | 621.378,38 |
| 1,3                   | 80,6398901    | 193.601,099 | 1,3                    | 41,81851      | 581.814,88 |
| 1,4                   | 83,8486577    | 161.513,423 | 1,4                    | 45,83062      | 541.693,78 |
| 1,5                   | 86,6385542    | 133.614,458 | 1,5                    | 49,86500      | 501.349,97 |
| 1,6                   | 89,0401421    | 109.598,579 | 1,6                    | 53,88602      | 461.139,78 |
| 1,7                   | 91,0869136    | 89.130,864  | 1,7                    | 57,85725      | 421.427,51 |
| 1,8                   | 92,8139469    | 71.860,531  | 1,8                    | 61,74279      | 382.572,13 |
| 1,9                   | 94,2567014    | 57.432,986  | 1,9                    | 65,50847      | 344.915,28 |
| 2,0                   | 95,4499876    | 45.500,124  | 2,0                    | 69,12298      | 308.770,21 |
| 2,1                   | 96,4271285    | 35.728,715  | 2,1                    | 72,55878      | 274.412,21 |
| 2,2                   | 97,2193202    | 27.806,798  | 2,2                    | 75,79286      | 242.071,41 |
| 2,3                   | 97,8551838    | 21.448,162  | 2,3                    | 78,80723      | 211.927,71 |
| 2,4                   | 98,3604942    | 16.395,058  | 2,4                    | 81,58918      | 184.108,21 |
| 2,5                   | 98,7580640    | 12.419,360  | 2,5                    | 84,13131      | 158.686,95 |
| 2,6                   | 99,0677556    | 9.322,444   | 2,6                    | 86,43132      | 135.686,77 |
| 2,7                   | 99,3065954    | 6.934,046   | 2,7                    | 88,49169      | 115.083,09 |
| 2,8                   | 99,4889619    | 5.110,381   | 2,8                    | 90,31909      | 96.809,10  |
| 2,9                   | 99,6268240    | 3.731,760   | 2,9                    | 91,92379      | 80.762,13  |
| 3,0                   | 99,7300066    | 2.699,934   | 3,0                    | 93,31894      | 66.810,63  |
| 3,1                   | 99,8064658    | 1.935,342   | 3,1                    | 94,51986      | 54.801,40  |
| 3,2                   | 99,8625596    | 1.374,404   | 3,2                    | 95,54333      | 44.566,73  |
| 3,3                   | 99,9033035    | 966,965     | 3,3                    | 96,40689      | 35.931,06  |
| 3,4                   | 99,9326038    | 673,962     | 3,4                    | 97,12830      | 28.716,97  |
| 3,5                   | 99,9534653    | 465,347     | 3,5                    | 97,72497      | 22.750,35  |
| 3,6                   | 99,9681709    | 318,291     | 3,6                    | 98,21355      | 17.864,53  |
| 3,7                   | 99,9784340    | 215,660     | 3,7                    | 98,60965      | 13.903,50  |
| 3,8                   | 99,9855255    | 144,745     | 3,8                    | 98,92759      | 10.724,14  |
| 3,9                   | 99,9903769    | 96,231      | 3,9                    | 99,18024      | 8.197,56   |
| 4,0                   | 99,9936628    | 63,372      | 4,0                    | 99,37903      | 6.209,70   |
| 4,1                   | 99,9958663    | 41,337      | 4,1                    | 99,53388      | 4.661,23   |
| 4,2                   | 99,9973292    | 26,708      | 4,2                    | 99,65330      | 3.467,03   |
| 4,3                   | 99,9982908    | 17,092      | 4,3                    | 99,74448      | 2.555,19   |
| 4,4                   | 99,9989166    | 10,834      | 4,4                    | 99,81341      | 1.865,88   |
| 4,5                   | 99,9993198    | 6,802       | 4,5                    | 99,86500      | 1.349,97   |
| 4,6                   | 99,9995771    | 4,229       | 4,6                    | 99,90323      | 967,67     |
| 4,7                   | 99,9997395    | 2,605       | 4,7                    | 99,93128      | 687,20     |
| 4,8                   | 99,9998411    | 1,589       | 4,8                    | 99,95165      | 483,48     |
| 4,9                   | 99,9999040    | 0,960       | 4,9                    | 99,96630      | 336,98     |
| 5,0                   | 99,9999426    | 0,574       | 5,0                    | 99,97673      | 232,67     |
| 5,1                   | 99,9999660    | 0,340       | 5,1                    | 99,98409      | 159,15     |
| 5,2                   | 99,9999800    | 0,200       | 5,2                    | 99,98922      | 107,83     |
| 5,3                   | 99,9999884    | 0,116       | 5,3                    | 99,99276      | 72,37      |
| 5,4                   | 99,9999933    | 0,067       | 5,4                    | 99,99519      | 48,12      |
| 5,5                   | 99,9999962    | 0,038       | 5,5                    | 99,99683      | 31,69      |
| 5,6                   | 99,9999979    | 0,021       | 5,6                    | 99,99793      | 20,67      |
| 5,7                   | 99,9999988    | 0,012       | 5,7                    | 99,99866      | 13,35      |
| 5,8                   | 99,9999993    | 0,007       | 5,8                    | 99,99915      | 8,55       |
| 5,9                   | 99,9999996    | 0,004       | 5,9                    | 99,99946      | 5,42       |
| 6,0                   | 99,9999998    | 0,002       | 6,0                    | 99,99966      | 3,40       |

(Fonte: adaptada de Campos, 2001)

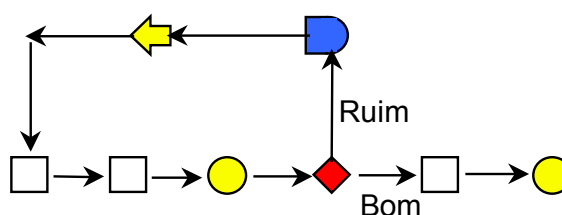
## 2.4 As Ferramentas para o Seis Sigma

O Seis Sigma se utiliza de um vasto ferramental estatístico. Dentre as principais ferramentas utilizadas, pode-se citar: Gerenciamento de Projetos, Mapeamento de Processos,

Diagrama e Matriz de Causa e Efeito, Controle Estatístico de Processos, Melhoria Contínua, Projeto / Reprojeto de Processos, Análise de Variância, Planejamento de Experimentos, Desdobramento da Função Qualidade, *Balanced Scorecard*, entre outros (Pande, 2001; Campos, 2001). A seguir, serão apresentadas em maior detalhe algumas ferramentas utilizadas diretamente no Estudo de Caso (Capítulo 4).

### 2.4.1 Mapeamento de Processos

Usualmente, a primeira ferramenta a ser utilizada na metodologia Seis Sigma é o Mapeamento de Processos (Van Arnum, 2001). Trata-se de um documento ilustrado, que representa a seqüência do processo, e todas as saídas e entradas de interesse. Fundamentalmente, consiste em uma série de retângulos (tarefas) e losangos (decisões / avaliações), conectados por setas, retratando o fluxo de trabalho, conforme exemplificado na Figura 2.3 (Breyfogle, 1999; Pande, 2001).



*Figura 2.3 Exemplo de mapa de processo*

O principal objetivo, ao se estudar um Mapa de Processo, é a obtenção de um amplo entendimento acerca das transformações das entradas do processo e variáveis “X” sobre as características finais do produto, “Y” (Campos, 2001). Mas, também pode-se citar outras formas de utilização interessantes. Uma vez documentados e validados, estes mapeamentos podem servir de base para análises em busca de discontinuidades, gargalos, redundâncias, ciclos de retrabalho e decisões / inspeções, além de serem úteis em treinamentos e auditorias (Pande, 2001; Breyfogle, 1999).

## 2.4.2 Diagrama e Matriz de Causa e Efeito

Uma ferramenta muito eficiente no processo de resolução de problemas é o Diagrama de Causa e Efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa (em homenagem a Kaoru Ishikawa, da Universidade de Tóquio) ou Diagrama de Espinha de Peixe (Campos, 2001).

Bastante utilizado como ponto de partida para a identificação da “causa-raiz” de problemas, permite que uma equipe, a partir de um problema ou resultado indesejado, crie uma lista estruturada de possíveis causas para este. Denominando-se por X os fatores de variação e por Y o resultado das mudanças em X, pode-se dizer que, no Diagrama de Causa e Efeito, o efeito ou problema é o Y e as possíveis causas de origem, que aparecem na espinha (Figura 2.4) são os X. (Pande, 2001).

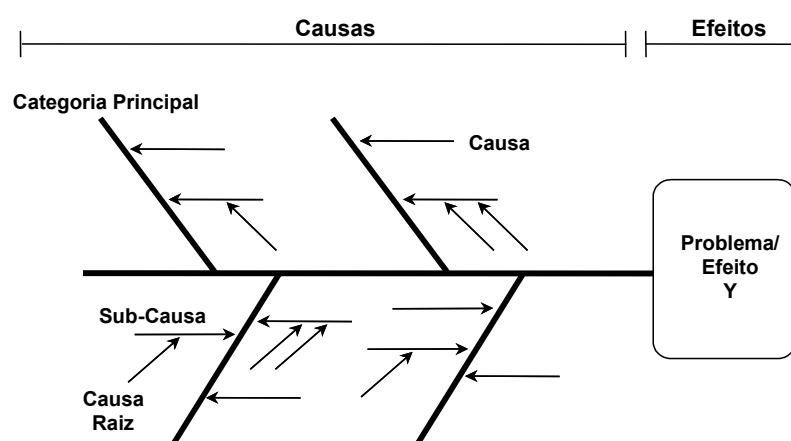


Figura 2.4 Diagrama de causa e efeito (Fonte: adaptada de Pande, 2001, p. 266)

Esta técnica é útil para a determinação dos fatores a considerar em uma análise de regressão ou projeto de experimentos, bem como para a identificação dos fatores de ruído e fatores controláveis (Breyfogle, 1999). Como benefícios adicionais, são citadas a organização e documentação das causas potenciais de um efeito, e a visualização do relacionamento de cada causa e sub-causa às demais, e ao efeito (Campos, 2001).

Ao se construir esse tipo de diagrama, é recomendado considerar-se seis áreas que, em processos industriais, podem contribuir para o efeito ou resposta em estudo: materiais,

maquinário, método, mão-de-obra, mensuração e meio-ambiente. Cada uma destas categorias deverá ser então investigada quanto a sub-causas para o problema (Breyfogle, 1999; Campos, 2001).

A partir dos itens levantados no diagrama, é construída a Matriz de Causa e Efeito. A matriz tem por objetivo priorizar as possíveis causas a serem investigadas. Colocam-se nas linhas os fatores levantados no diagrama (X's), e, nas colunas, as principais respostas (Y's) resultantes de variações nestes fatores, conforme exemplificado na Figura 2.5.

Com base na experiência da equipe envolvida, as respostas são pontuadas em razão de sua importância para o cliente, enquanto as causas são avaliadas pela sua relação com as respostas. A pontuação final dos fatores é obtida através da soma dos produtos da multiplicação do escore do relacionamento do fator pelo valor de importância da respectiva resposta.

| Matriz               |                            |             |               |     |               |              |       |             |         |    |    |    |    |    |    |       |
|----------------------|----------------------------|-------------|---------------|-----|---------------|--------------|-------|-------------|---------|----|----|----|----|----|----|-------|
| Entradas do Processo | Importância para o Cliente |             |               |     |               |              |       |             |         |    |    |    |    |    |    | Total |
|                      | 1                          | 2           | 3             | 4   | 5             | 6            | 7     | 8           | 9       | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |       |
|                      | Ge/Time                    | Viscosidade | Transparência | Cor | Homogeneidade | Consistência | Tempo | Temperatura | Sólidos |    |    |    |    |    |    |       |
| 1                    | 9                          | 8           | 2             | 1   | 1             | 9            | 1     | 1           | 8       |    |    |    |    |    |    | 321   |
| 3                    | 3                          | 8           | 1             | 1   | 1             | 8            | 1     | 3           | 8       |    |    |    |    |    |    | 255   |
| 4                    | 1                          | 1           | 4             | 2   | 1             | 2            | 1     | 1           | 1       |    |    |    |    |    |    | 247   |
| 7                    | 8                          | 5           | 3             | 1   | 1             | 8            | 1     | 1           | 2       |    |    |    |    |    |    | 247   |
| 6                    | 9                          | 7           | 1             | 1   | 1             | 9            | 1     | 1           | 2       |    |    |    |    |    |    | 242   |
| 8                    | 8                          | 5           | 1             | 1   | 1             | 9            | 1     | 1           | 2       |    |    |    |    |    |    | 242   |
| 9                    | 1                          | 1           | 1             | 1   | 7             | 1            | 1     | 1           | 1       |    |    |    |    |    |    | 125   |
| 5                    | 1                          | 1           | 1             | 1   | 1             | 2            | 1     | 1           | 1       |    |    |    |    |    |    | 74    |
| 2                    | 1                          | 1           | 1             | 1   | 1             | 1            | 1     | 1           | 1       |    |    |    |    |    |    | 65    |
| Total                | 369                        | 333         | 105           | 100 | 150           | 441          | 27    | 22          | 156     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |       |

Figura 2.5 Exemplo de matriz de causa e efeito

### 2.4.3 Análise do Sistema de Medição

Todos os meios de medição, desde os mais simples até os mais sofisticados, estão sujeitos à variação. Portanto, é de fundamental importância o conhecimento desta variação e,

caso necessário, a sua minimização, para que os dados obtidos através deste sistema sejam confiáveis (Campos, 2001).

Um sistema de medição adequado deve ser capaz de detectar pequenas mudanças na característica em estudo. Considera-se que, para o controle de características críticas, ele deve ser capaz de distinguir pelo menos 5 categorias distintas. Esta análise do poder discriminatório é feita utilizando-se cartas de controle para média e amplitude (Ribeiro e Caten, 2000).

Os sistemas de medição também podem ser avaliados quanto à estabilidade, tendência, linearidade, repetitividade e reprodutividade.

O estudo de estabilidade verifica o desempenho do sistema ao longo do tempo, através de cartas de controle. Já a tendência, geralmente expressa em termos percentuais, refere-se à diferença entre a média observada e o valor de referência, dividido pela tolerância (amplitude do intervalo de especificação). A análise do desempenho ao longo da faixa de uso do dispositivo, ou seja, a linearidade do sistema, é realizada através de um estudo de regressão, verificando se a tendência é função da magnitude do valor de referência (Ribeiro e Caten, 2000; Campos, 2001).

As análises de repetibilidade (variação do dispositivo de medição) e de reprodutibilidade (variação do operador) são feitas geralmente combinadas, em um estudo conhecido como estudo de R&R. Os critérios usuais para aceitação ou não de um sistema de medição são:  $R\&R\% < 10\%$ , sistema é aceito;  $10 < R\&R\% < 30\%$ , sistema pode ser aceito;  $R\&R\% > 30\%$ , sistema é rejeitado (Ribeiro e Caten, 2000).

O estudo formal de R&R é feito utilizando-se o método da média e amplitude. Este método permite distinguir a contribuição individual da repetibilidade e da reprodutibilidade para a variabilidade total do sistema. O estudo é conduzido de modo que 2 ou 3 operadores executem medições, em geral 2 ou 3 sobre uma mesma peça, para cerca de 10 peças (Ribeiro e Caten, 2000).

A seguir são calculados a amplitude média das medidas dos operadores ( $R_{\text{bar}}$ ), o desvio padrão do equipamento ( $\sigma_e$ ) e o percentual da variação devida ao equipamento ( $VE\%$ ). De modo similar, são calculados também a amplitude das medidas entre os operadores ( $R_o$ ), o desvio padrão do operador ( $\sigma_o$ ) e o percentual da variação devida ao operador ( $VO\%$ ). Na

seqüência são calculados o desvio padrão do sistema de medição ( $\sigma_m$ ), o R&R%, a amplitude entre peças ( $R_p$ ), o desvio-padrão da peça ( $\sigma_p$ ), a variação devida à peça (VP%) e, finalmente, a variação total (VT%).

As expressões utilizadas para estes cálculos são apresentadas no Quadro 2.1.

*Quadro 2.1 Equações para cálculo de R&R*

|  |  |
|--|--|
| $R_{bar} = \frac{R_A + R_B + \dots}{\text{número de operadores}}$                                      | sendo $A, B, \dots$ os operadores                        |
| $\sigma_e = \frac{R_{bar}}{d_2}$   | sendo $d_2$ um valor tabelado                            |
| $VE = 5,15 \times \sigma_e$  |  |
| $VE\% = 100 \times VE / VT$  | ou $VE\% = 100 \times VE / \text{Tolerância}$            |
| $R_o = X_{bar} \text{ max} - X_{bar} \text{ min}$  | sendo $X_{bar}$ a média das medidas por operador         |
| $VO = \sqrt{\left(5,15 \times \frac{R_o}{d_2}\right)^2 - \frac{(5,15 \times \sigma_e)^2}{n \times r}}$ | sendo $n$ o número de peças e $r$ o de ciclos de medição |
| $VO\% = 100 \times VO / VT$  | ou $VO\% = 100 \times VO / \text{Tolerância}$            |
| $\sigma_m = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_o^2}$  |  |
| $R \& R = 5,15 \times \sigma_m$  | ou $R \& R = \sqrt{VE^2 + VO^2}$                         |
| $R \& R\% = 100 \times R \& R / VT$  | ou   |
| $R \& R\% = 100 \times R \& R / \text{Tolerância}$   |  |
| $R_p = X_{bar} \text{ max} - X_{bar} \text{ min}$  | sendo $X_{bar}$ a média das medidas entre peças          |
| $\sigma_p = \frac{R_p}{d_2}$   |  |
| $VP = 5,15 \times \sigma_p$  |  |
| $VP\% = 100 \times VP / VT$  | ou $VP\% = 100 \times VP / \text{Tolerância}$            |
| $VT = \sqrt{R \& R^2 + VP^2}$  |  |

(Fonte: adaptado de Ribeiro e Caten, 2000)

Uma outra maneira de analisar os dados de um estudo de R&R seria através do método de análise de variância. Este método, que permite uma estimativa mais precisa das variâncias, decompõe a variabilidade em quatro fontes: peças, operadores, interação entre

peças e operadores e erro de replicação devido ao dispositivo de medição. A análise de variância será apresentada na seção 2.4.6.

#### 2.4.4 Controle Estatístico de Processo (CEP)

O Controle Estatístico de Processo teve origem nos anos 20, na Bell Telephone Laboratories, através do trabalho do Dr. Walter Shewhart. Shewhart, aplicando conceitos estatísticos, desenvolveu as cartas de controle de processo. Posteriormente, Deming, que trabalhou com Shewhart na Western Electric, tornou-se o grande divulgador desta técnica, adotada com grande sucesso, principalmente no Japão, a partir do período pós-guerra (Campos, 2001).

As cartas de controle, como exemplificado na Figura 2.6, são gráficos de linha onde são plotados dados referentes a algum parâmetro de processo, em ordem cronológica. Também são traçadas linhas correspondentes à média dos valores e aos limites de controle naturais do processo (média  $\pm 3$  sigma), permitindo a visualização da localização e dispersão do processo (Campos, 2001).

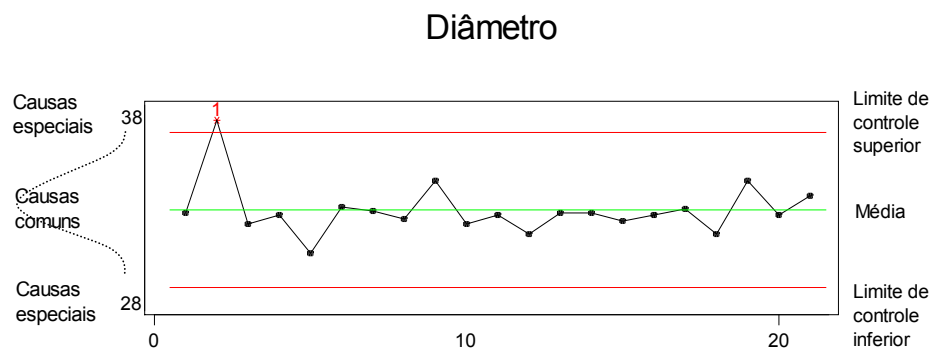


Figura 2.6 Exemplo de cartas de controle (Fonte: adaptada de Ribeiro e Caten, 2000)

A escolha do tipo de gráfico de controle dependerá de cada situação. Existem gráficos para variáveis contínuas e para variáveis discretas (atributos). Um guia prático para a seleção do tipo de carta pode ser encontrado em Montgomery (1985) ou Ribeiro e Caten (2000).

Através das cartas de controle de processo é possível distinguir-se o tipo de

variabilidade associada aos processos produtivos, ou seja, se é devida a causas aleatórias (comuns) ou a causas assinaláveis (especiais). Quando a variabilidade representa o padrão natural do processo, resultado do somatório de pequenas fontes de variação aleatórias, as causas da variação são ditas causas comuns, e o processo é dito estável, ou sob controle estatístico. Se, no entanto, existirem fatores externos ao sistema, que surgem de tempos em tempos, e que provocam alterações importantes na variabilidade tornando o processo instável, diz-se então que a variabilidade é devida a causas especiais (Montgomery, 1985).

O CEP fornece uma radiografia do processo, possibilitando a identificação e controle da variabilidade ao longo do tempo. O CEP pode ser bastante útil, portanto, para uma avaliação da condição atual do processo, para orientar as ações de melhoria e, posteriormente, para o controle dos parâmetros que vão garantir a manutenção das melhorias (Ribeiro e Caten, 2000).

Embora seja um processo de inspeção, esta se dá durante o processo, através de uma coleta de dados contínua, sinalizando a ocorrência das causas especiais e permitindo assim que ações sejam tomadas para o seu bloqueio imediato, pelo próprio operador. Estas ações podem ser ajustes nos parâmetros do processo, controle de matérias-primas, treinamento de operadores, etc. Desta maneira, é possível reduzir o refugo e o retrabalho e, conseqüentemente, os custos da má qualidade (Ribeiro e Caten, 2000).

Uma vez eliminadas as causas especiais, isto é, uma vez estabilizado o processo, é possível avaliar-se a capacidade deste em atender às especificações de clientes ou de projeto. Isto é feito através da comparação dos limites naturais com os limites das especificações. Se a variabilidade natural for maior que a amplitude das especificações, o processo é considerado não capaz e requererá atuação gerencial. Se, por outro lado, a variabilidade devida às causas comuns for menor que a amplitude das especificações, tem-se então um processo capaz (Ribeiro e Caten, 2000).

A capacidade dos processos pode ser expressa quantitativamente através de índices de capacidade, como por exemplo, o  $C_p$  e o  $C_{pk}$ . O  $C_p$  avalia a capacidade potencial do processo, isto é, a capacidade máxima que poderia ser atingida pelo processo se o mesmo estivesse centrado. É definido como a tolerância dividida pela dispersão do processo. O índice  $C_{pk}$  representa a capacidade real ou nominal do processo, pois leva em conta o valor da média da característica em avaliação, e é sempre menor ou igual ao  $C_p$ . Relaciona a

distância entre a média e o limite de especificação mais próximo à metade da dispersão total (Breyfogle, 1999).

Embora um  $C_{pk} > 1$  corresponda a uma fração de defeituosos muito pequena (<0,27%), muitas empresas já utilizam como meta um  $C_{pk} > 1,33$ , ou seja menos de 0,0063% de defeituosos. Pelo programa Seis Sigma original da Motorola, um processo é considerado 6 Sigma quando atinge índices  $C_p=2$  e  $C_{pk}=1,5$ , correspondendo a 0,00034 % de falhas (Breyfogle, 1999). A Figura 2.7 apresenta gráfico com curvas para diferentes  $C_p$ 's.

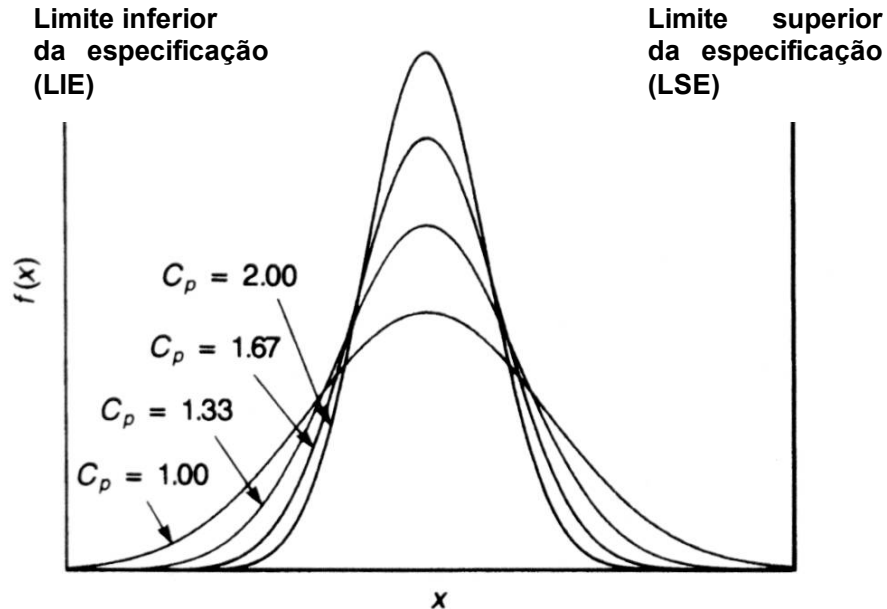


Figura 2.7 Comparativo de curvas para diferentes  $C_p$ 's  
(Fonte: adaptada de Breyfogle, 1999, pg.195)

Montgomery (1985) exemplifica as relações entre  $C_p$  e  $C_{pk}$ , como pode ser visto na Figura 2.8.

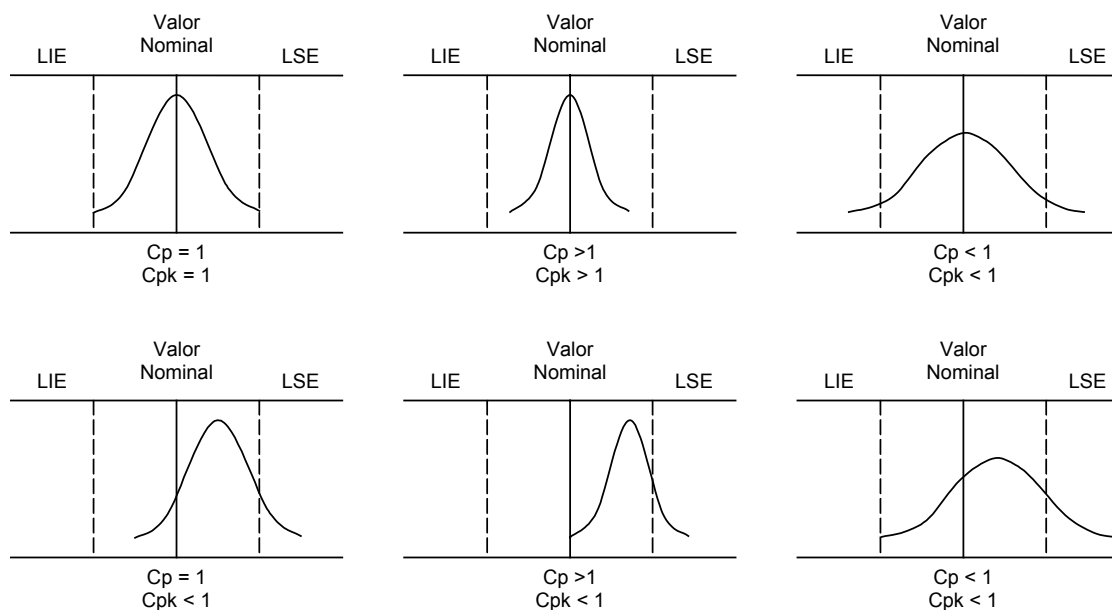


Figura 2.8 Comparativo das relações entre  $C_p$  e  $C_{pk}$  (Fonte: Montgomery, 1985)

## 2.4.5 Projeto de Experimentos (DOE)

Sir Roland Fischer, estatístico e geneticista britânico, concebeu e desenvolveu, em 1920, na Estação Experimental Agrícola Rothamstead, Inglaterra, a técnica estatística conhecida como Projeto de Experimentos (DOE – *Design of Experiments*). As aplicações iniciais foram na área da agricultura, porém, a partir da 2<sup>a</sup> Guerra Mundial, a metodologia se disseminou para os mais variados campos de aplicação (Campos, 2001; Hill e Prane, 1984).

Projeto de Experimentos pode ser definido como uma metodologia com forte embasamento estatístico, que proporciona uma estrutura rigorosa e universal para planejar, executar e analisar experimentos (Campos, 2001).

É uma técnica que fornece muita informação, a partir de um reduzido número de experimentos, a um custo e/ou tempo mínimos, e onde os resultados são confiáveis. Isto porque o efeito dos fatores não controláveis, responsáveis pelo erro experimental, ou ruído, é minimizado e quantificado (Ribeiro e Caten, 2000).

Além disto, a utilização dos princípios de Planejamento de Experimentos contorna 3

tipos de dificuldades, normalmente presentes em experimentação: a variação produzida por fatores aleatórios (erro experimental), a confusão entre correlação e causalidade, e a complexidade dos efeitos estudados, como não linearidade ou interações (Box *et al*, 1976).

Segundo Campos (2001), a sistemática de planejamento de experimentos consiste de duas fases:

O planejamento do experimento, onde são definidas as variáveis independentes, ou fatores, que serão investigados, seus respectivos níveis e intervalos de investigação, bem como as variáveis de resposta, resultando em uma estrutura para a execução dos testes. A conformação desta estrutura dependerá também de restrições experimentais, existentes na maioria das situações.

O procedimento analítico, quando são extraídas as informações relevantes obtidas dos experimentos, que pode ser através de análise gráfica, análise de variância e/ou análise de regressão linear.

A seleção do tipo de projeto a ser usado depende principalmente da fase e objetivo do estudo, e do número de variáveis presentes. A seguir são apresentados alguns critérios de escolha e respectivas recomendações de planos (Campos, 2001).

Normalmente, quando se inicia o estudo de algum fenômeno ou processo, existem muitas variáveis independentes possíveis. Nesta fase são recomendados experimentos exploratórios, cujo objetivo é justamente identificar os fatores mais importantes. O número típico de fatores vai de 6 a 30, e os projetos indicados são Plackett-Burman e Fatorial Fracionado.

A fase seguinte é a de caracterização, onde são estimados os efeitos lineares e as interações dos fatores selecionados, em geral de 3 a 8, na região em estudo. O projeto típico nesta etapa é o Fatorial a dois níveis e ponto central.

Na seqüência, pode ser necessário investigar a região quanto a curvatura, com propósito de otimização. Neste caso, utilizam-se experimentos do tipo Superfície de Resposta, tipicamente para 2 a 6 fatores, como Fatorial a 3 níveis, Box-Behnken e Central Composto.

Nesta evolução dos experimentos, a fase final é a de Modelagem. Utilizam-se modelos teóricos, apoiados por computador, para estimar o comportamento dos parâmetros, em faixas

dentro da região de experimentação.

Em se tratando da indústria de tintas, uma estratégia típica é utilizar projetos de mistura para o ajuste fino da formulação, e otimizar o processo através do uso de projeto fatorial e métodos de superfície de resposta (Anderson e Whitcomb, 2000).

Os vários projetos citados nos parágrafos anteriores podem ser consultados em vasta literatura, como por exemplo, nos livros de Hicks (1982), Montgomery (1991), Box *et al* (1978) e Hill e Prane (1984). A seguir será discutido mais detalhadamente o projeto Fatorial Confundido em Blocos, o qual é utilizado no estudo de caso apresentado no Capítulo 4.

Existem inúmeras situações em que a aleatorização completa não é possível. A execução do planejamento fica restringida, por exemplo, quando não é possível rodar todos os ensaios no mesmo dia, ou no mesmo equipamento. Os ensaios realizados no mesmo dia, ou equipamento, compõe um sub-conjunto homogêneo denominado “bloco”. Nestes casos, deve-se decidir qual informação será sacrificada, pois ficará confundida com o efeito do bloco (Ribeiro e Caten, 2000).

Na maioria dos casos, é preferível ter confundida uma interação que um efeito principal. Espera-se, é claro, que o efeito desta interação não seja significativo, e que a informação dos efeitos principais então possa ser obtida através do experimento (Hicks, 1982). A estratégia geralmente adotada é a de perder a interação de mais alta ordem. Entretanto, existem diversos sistemas de confundimento e técnicas de planejamento que podem ser adotadas. Maiores detalhes sobre estes projetos podem ser consultados em Hicks (1982) ou Montgomery (1991).

Quando a mesma interação é confundida em todas as repetições tem-se experimentos completamente confundidos. O erro, neste caso, usualmente é tomado como a interação entre as repetições e os efeitos principais e suas interações, e é usado para testar os efeitos importantes. O efeito das repetições e o efeito dos blocos são analisados separadamente com o objetivo de diminuir o termo de erro (Ribeiro e Caten, 2000).

#### 2.4.6 Análise de Variância (ANOVA)

Este método, que é uma extensão do teste de hipótese  $t$ , possibilita a comparação de várias médias oriundas de grupos ou tratamentos diferentes. Na ANOVA, testa-se a hipótese

nula de que as médias de diferentes grupos ou processos sejam iguais (Breyfogle, 1999).

A *one-way* ANOVA é a análise de variância para um único fator controlável a vários níveis. Os experimentos feitos para cada nível do fator configuram os grupos. Cada nível do fator, na análise, corresponde a uma população com sua própria média. A média amostral é uma estimativa da média dos níveis para o total da população (Ribeiro e Caten, 2000; Breyfogle, 1999).

Os experimentos podem ser a nível fixo ou aleatório, dependendo se o efeito de cada tratamento é, respectivamente, fixo ou aleatório. Os resultados poderiam ser representados por um modelo estatístico aditivo, conforme Equação 3, onde  $Y_{ij}$  é a observação  $j$  ( $j = 1, \dots, n_i$ ) medida no tratamento  $i$  ( $i = 1, \dots, k$ ),  $\mu$  é a média geral de todas as observações,  $\tau$  é o efeito do tratamento  $i$  e  $\varepsilon$  é o erro aleatório (Ribeiro e Caten, 2000).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{Equação 3}$$

A análise de variância se baseia na decomposição da variabilidade total em suas partes componentes: a variabilidade entre níveis (grupos) e a variabilidade dentro do nível (grupo). Os cálculos associados são realizados utilizando-se a chamada tabela ANOVA (Tabela 2.2), conforme formulário apresentado no Quadro 2.2 (Ribeiro e Caten, 2000).

*Tabela 2.2 Exemplo de tabela ANOVA*

| <b>Fonte de Variação</b> | <b><i>SQ</i></b> | <b><i>GDL</i></b> | <b><i>MQ</i></b> | <b><i>Teste F</i></b> |
|--------------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| Entre Grupos             | <i>SQG</i>       | <i>k-1</i>        | <i>MQG</i>       | <i>MQG/MQR</i>        |
| Dentro Grupos            | <i>SQR</i>       | <i>N-k</i>        | <i>MQR</i>       |                       |
| Total                    | <i>SQT</i>       | <i>N-1</i>        |                  |                       |

Quadro 2.2 Formulário para os cálculos

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| $TC = \frac{(T..)^2}{N}$  | Termo de Correção               |
| $SQT = \sum (Y_{ij}^2) - TC$  | Soma dos Quadrados Totais       |
| $SQG = \sum \left(\frac{T_i^2}{n_i}\right) - TC$                          | Soma dos Quadrados dos Grupos   |
| $SQR = \sum (Y_{ij}^2) - \sum \left(\frac{T_i^2}{n_i}\right) = SQT - SQG$ | Soma dos Quadrados dos Resíduos |
| $T..$ - soma de todas as observações                                      |                                 |
| $T_i$ - soma das observações no grupo $i$                                 |                                 |
| GDL - número de graus de liberdade  |                                 |
| MQ - média quadrada   |                                 |

A comparação do valor obtido no teste F indica a existência de diferença significativa ou não entre os grupos, respectivamente se o F calculado for maior ou menor que o F tabelado. Diferença significativa entre as médias dos grupos significa que a variabilidade entre grupos é maior que a variabilidade dentro do grupo devida ao erro aleatório.

Maiores detalhes sobre estes cálculos, bem como outros tópicos associados, tais como comparação múltipla de médias, *two-way* ANOVA ou *multi-factor* ANOVA, podem ser obtidos em Ribeiro e Caten (2000), Hicks (1982) ou Montgomery (1991).

## 2.5 Qualidade na Indústria de Tintas

### 2.5.1 O que são Tintas

Uma tinta, genericamente falando, é composta por pigmentos dispersos em uma solução de resina (veículo). A resina é o agente formador de filme e normalmente se encontra dissolvida em um solvente orgânico. Os pigmentos são partículas coloridas, insolúveis na solução de resina, responsáveis pelas propriedades de cor e opacidade (Wicks *et al*, 1992).

Além do solvente da resina, outros solventes são geralmente adicionados a fim de reduzir a viscosidade da tinta a valores que facilitem a sua manipulação e utilização. Outros materiais são adicionados em pequenas quantidades, os aditivos, de modo a conferir

características especiais à tinta (López, 1997).

Ao aplicar-se uma tinta na forma de uma película delgada, os componentes voláteis evaporam, resultando em um revestimento sólido, contínuo e aderente, que é ao mesmo tempo decorativo e protetor (López, 1997).

Em se tratando de tintas industriais, a maioria dos produtos é feita sob medida para o cliente (*taylor-made*). Os produtos são desenvolvidos para diferentes necessidades de utilização, diferentes métodos de aplicação, e em cores praticamente personalizadas. Como consequência, os fabricantes trabalham com um número muito grande de formulações disponíveis, sendo que, no curso de um ano, apenas uma parte delas é realmente utilizada (Chafer, 1990).

## 2.5.2 O Processo de Fabricação de Tintas

A indústria de tintas, como uma produtora da categoria de especialidades, se caracteriza por baixos custos de produção e por processos pequenos e flexíveis (Morris, 1997/1998). As operações envolvidas são relativamente simples, com utilização de máquinas e equipamentos de baixa sofisticação e, geralmente, em sistema de bateladas.

Pode-se dizer que o cerne do processo consiste na obtenção da dispersão estável dos pigmentos, no veículo que a compõe.

A seguir será apresentada uma descrição das etapas de um processo de produção clássico:

### 2.5.2.1 Pesagem

Consiste na dosagem mássica, em balanças adequadas, dos materiais que compõem a massa de moagem - resina, solvente, aditivos umectantes e pigmentos, em um recipiente cilíndrico chamado de tacho ou “panela”.

### 2.5.2.2 Pré-dispersão

Como o próprio nome indica, é a etapa de preparação para dispersão dos componentes da massa de moagem. Estes componentes são misturados em agitadores do tipo *cowles*, por cerca de 30 minutos, promovendo a umectação dos pigmentos pelo veículo (Wicks *et al.*, 1992). Os *cowles* consistem em um disco dentado, montado sobre um eixo com cabeça móvel,

que pode operar a várias velocidades. A velocidade mais baixa é utilizada durante a adição dos pós (pigmentos e cargas), e as velocidades mais altas para realizar efetivamente a pré-dispersão (Lázaro, 1997).

A elevação da temperatura durante o processo é normal e desejável, indicando a eficiência da máquina; porém, caso a temperatura aumente demais, o fluxo torna-se turbulento em função da redução da viscosidade do material.

Existe um ajuste ótimo entre posição, diâmetro e velocidade do disco impelidor, tamanho da embalagem e volume de massa de moagem, de modo que seja criado um movimento misto radial-axial, com formação de um oco em forma de cone invertido no centro da pasta, proporcionando a circulação de todas as partículas da massa. A viscosidade da massa condiciona a transmissão de potência do motor à massa, e, portanto, também deve ser ajustada, a fim de obter-se a velocidade necessária a uma boa pré-dispersão (Lázaro, 1997).

É aconselhável deixar-se a pasta obtida em repouso durante um tempo, para que os solventes penetrem nos agregados de pigmento ainda existentes. Com este procedimento a etapa seguinte, de moagem, fica bastante facilitada (Lázaro, 1997).

### 2.5.2.3 Dispersão ou Moagem

A dispersão em moinhos é considerada a etapa mais crítica do processo de produção de tintas. Nesta operação, os aglomerados de pigmentos devem ser separados, mediante forças de cisalhamento, de modo que cada partícula seja umectada pelo veículo, e assim forme uma dispersão estável. Os moinhos são equipamentos de maior eficiência que os *cowles*, permitindo a obtenção de produtos com elevado grau de dispersão (partículas menores que 1 micrometro). Existem moinhos de diversos tamanhos e tipos, podendo ser: contínuos ou descontínuos, abertos ou fechados, e verticais ou horizontais (Lázaro, 1997).

Os moinhos verticais, por exemplo, consistem em uma cavidade cilíndrica de aço inoxidável e um eixo rotativo na parte central, com discos espaçados. O interior é recheado com micro-esferas de vidro ou zircônio, que realizam a separação dos aglomerados de pigmentos e cargas por choque e por fricção. A alimentação é realizada por meio de bombas que proporcionam a entrada da tinta pela parte inferior, sendo a retirada pela parte superior, através de uma tela, que separa as esferas da pasta. O cilindro é envolto por uma camisa para circulação de água, que visa o resfriamento do equipamento, a fim de evitar queda na

viscosidade e perdas excessivas de solvente (Lázaro, 1997; Fazenda, 1993).

A viscosidade da massa de moagem deve ser adequada ao fluxo de moagem. Ela não pode ser muito baixa, pois a pasta passaria muito rapidamente, diminuindo a frequência de choques / fricção das partículas, prejudicando assim a dispersão. A viscosidade também não pode ser muito alta, o que ocasionaria uma moagem muito lenta, com superaquecimento da pasta e até mesmo desarme do moinho.

O fluxo através do moinho pode ser controlado manualmente, pela variação da velocidade do disco agitador, ou então pela bomba de deslocamento positivo. Quanto mais lento o fluxo, maior será o tempo de residência da massa no interior do moinho e, portanto, um maior trabalho de moagem será executado (Fazenda, 1993).

Passa-se a massa de moagem pelo moinho a quantidade de vezes necessária para alcançar-se o grau de dispersão requerido. Ao final da dispersão, geralmente lava-se o interior do moinho com a passagem através deste de resina e/ou solvente, integrantes da fórmula. Esta “lavagem”, após a passagem pelo moinho, geralmente é recolhida ao lote em produção. Posteriormente, é recomendada a limpeza final do moinho, com a passagem de solventes específicos para este fim, de modo a minimizar as chances de contaminação dos lotes subsequentes.

Os moinhos sofrem desgastes consideráveis pelo atrito dos elementos móveis com a carga de material para moagem (geralmente esferas de zircônio). Assim, se recomenda que, a cada determinado número de horas de trabalho, as máquinas sejam desmontadas e revisadas e que o estado e a quantidade do meio de moagem seja verificado (Lázaro, 1997).

#### 2.5.2.4 Completagem

Na seqüência do processo de fabricação de tintas, tem-se a etapa chamada de Completagem. Uma vez obtida a dispersão dos pós, restam agora a adição e homogeneização dos demais itens da formulação, de modo a reduzir a base de moagem a condições satisfatórias de aplicação (Fazenda, 1993).

Normalmente são dosados e adicionados mais resina, solvente e aditivos, utilizando-se Mexedeiras. Estes equipamentos nada mais são que misturadores, similares aos dispersores *cowles*, porém com potência e velocidades bem mais baixas, uma vez que o objetivo aqui é simplesmente misturar os materiais.

### 2.5.2.5 Acertos e Controle de Qualidade

O Controle de Qualidade de tintas pode compreender desde testes simples, como aspecto e grau de moagem, até testes complexos, como os de avaliação do uso final do produto, impactando diretamente no tempo de ciclo de produção.

Na grande maioria dos casos, porém, os principais parâmetros controlados são cor, brilho e viscosidade. O controle destes parâmetros demanda quase que obrigatoriamente uma etapa de ajuste dos lotes. Assim, a indústria de tintas tradicional trabalha com um estágio de ajustes, ou acertos (nomenclatura mais usual), associado aos testes de liberação de lotes.

O acerto de cor é feito, normalmente, comparando-se a cor do lote com a de um padrão, e adicionando-se concentrados de pigmento, em combinações e teores adequados, de modo a aproximar o lote à cor do padrão. É desejável que as quantidades adicionadas sejam as menores possíveis. O acerto de brilho, que não é tão freqüente ou necessário quanto o de cor, consiste na adição de resina ou fosqueador, de modo a aumentar ou diminuir o brilho do produto, respectivamente.

O acerto de viscosidade é feito através da adição de solvente e ou espessante, dependendo se a viscosidade está respectivamente acima ou abaixo da faixa especificada.

Empresas fabricantes de tintas sincronizadas com as novas filosofias de qualidade total, já estão utilizando controles do tipo CEP em seus processos produtivos. O objetivo é verificar alguns parâmetros das tintas já durante a fabricação, ao invés de controlar os lotes somente no final da preparação, quando é mais difícil solucionar eventuais problemas. Exemplos de parâmetros a serem controlados seriam o fluxo e a temperatura de saída de pasta moída, na etapa de moagem, tendo sido ajustada a viscosidade da massa de moagem (Lázaro, 1997).

### 2.5.2.6 Filtração e Envase

O objetivo da filtração, em tintas, é separar as partículas estranhas (restos de material, partículas metálicas, sujeira, etc.), respeitando-se as partículas menores de pigmento. O método mais versátil é o uso de cartuchos ou sacos filtrantes. Normalmente as operações de filtração e enlatamento ocorrem simultaneamente. O produto só é filtrado após terem sido ajustadas suas características, e é introduzido diretamente na embalagem final, a fim de evitar-se possíveis contaminações.

### 2.5.2.7 Sistemas Alternativos de Produção

Existem alguns tipos de tinta que são produzidos por processos diferenciados, sem a etapa de dispersão em moinho.

No caso das tintas em emulsão aquosa, que não podem sofrer cisalhamento muito forte, das tintas base solvente que não necessitam uma ótima dispersão, ou ainda, das tintas formuladas com pigmentos e cargas micronizados, é utilizado o processo apenas em dispersor. Neste processo as resinas, solventes e aditivos são misturadas em um *cowles* dispersador, onde posteriormente são adicionados os pós. A viscosidade da mistura, ou massa de moagem, deve ser adequada para uma boa dispersão; após o tempo de dispersão pré-determinado, é realizada a completagem, com a adição dos demais ingredientes da fórmula.

O processo mais simples e ágil, e que garante a maior produtividade é o processo por mistura. A simplicidade do processo é garantida pela total inexistência do processo de dispersão, visto que somente são utilizados concentrados de pigmentos, resinas, aditivos e solventes nas formulações. Não é necessária a dispersão, pois os concentrados de pigmentos já possuem o grau de dispersão requerido pelo sistema, sendo somente necessária a mistura dos componentes da formulação em um misturador.

### 2.5.3 Processos Modernos de Fabricação

Os desenvolvimentos na área de manufatura de tintas têm sido direcionados principalmente à redução do consumo de energia, à proteção ao meio ambiente e ao aumento da capacidade e eficiência de produção (Equipamentos, 1997).

A automatização do processo convencional, como por exemplo, uso de tachos automatizados, tanques-balança e transportadores pneumáticos de pós, certamente representa uma melhoria das operações, embora não contribua significativamente para uma redução do tempo de ciclo de produção (Auaud e Peixoto, 1999; Scigliano, 1998).

Por outro lado, algumas inovações em termos de equipamentos de dispersão e mistura têm possibilitado ganhos importantes de produtividade e qualidade (Equipamentos, 1997; Kolb e Harbs, 1999):

Dispensores e misturadores à vácuo, por exemplo, trabalham em sistema fechado, evitando perdas com evaporação de solventes. Moinhos de imersão realizam a moagem

diretamente no tanque de mistura, conferindo maior agilidade na troca de cores, uma vez que a limpeza fica bastante facilitada. As perdas de produto são reduzidas, ficando na ordem de 2%. Moinhos horizontais, fechados e com recirculação aumentam significativamente a produtividade, já que permitem múltiplas passagens da massa de moagem, em alta velocidade. Neste tipo de equipamento, toda a cuba possui área de moagem, diferentemente dos tradicionais moinhos verticais, onde a moagem se concentra apenas no fundo da cuba. Outra inovação em moinhos de alto desempenho é a operação em sistema de troca e limpeza rápidas do meio de moagem.

Seguindo um conceito novo de produção, foram desenvolvidos equipamentos que permitem a operação em processo contínuo. Neste sistema, os produtos são confeccionados e ajustados a partir da mistura de intermediários. Os intermediários nada mais são que concentrados de cores, resinas, aditivos e solventes, que são dosados simultaneamente e com alta precisão. As características dos produtos são analisadas e corrigidas *on-line*, e em tempo real, através do emprego de tecnologias avançadas de instrumentação e controle. O controle da viscosidade, por exemplo, utiliza um medidor de coriólis, com um transmissor de pressão diferencial adaptado. Com a medida da perda de carga e da vazão mássica, é possível calcular-se a viscosidade correspondente (Auad e Peixoto, 1999; Pfeil, 2000).

Grandes fabricantes mundiais de tinta já utilizam processos automatizados e integrados via computador – CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). As plantas operam em sistema totalmente fechado e controlado. Informações como posição de válvulas, temperaturas, velocidades e taxas de fluxo são transmitidas constantemente aos centros de controle (Kneller, 1987; Chafer, 1990). Estas empresas também costumam utilizar *softwares* específicos para a programação e modelagem da produção, aumentando sensivelmente a eficiência de manufatura (Banov, 1987). Há programas que permitem planejar toda a rotina do processo produtivo, através da elaboração de planos seqüenciais detalhados e da utilização da teoria das restrições, resultando no aumento da eficiência (Dilger, 1999).

#### 2.5.4 Variabilidade dos processos

Com o intuito de aperfeiçoar a eficácia dos fluxos existentes, as empresas fabricantes de tintas, nacionais e mundiais, vêm investindo na modernização de processos, métodos e equipamentos. A automação industrial, associada a técnicas como CEP e *Just in Time* (JIT), e a adoção de métodos analíticos para o controle de lotes, como análises colorimétricas e

reológicas, têm contribuído para a melhoria dos sistemas produtivos (Deutsch, 1997; Ferreira, 1989).

Apesar desses esforços, este tipo de indústria trabalha, em geral, com baixos números de *First Run Capability* (FRC), da ordem de 40 a 50%. Para que se atinjam índices maiores de FRC, isto é, simplesmente fazer o lote, testar e enlatar, é importante que as fórmulas atendam as especificações, que os processos de produção sejam consistentes, e que as matérias-primas se mantenham uniformes (Ronney, 1991).

Outras possíveis causas para os baixos índices de FRC: o fato de fórmulas e tamanhos de lotes terem mudado significativamente, em relação aos inicialmente definidos; a variabilidade na dosificação dos ingredientes; a variabilidade associada à presença de fluxos recirculantes (por exemplo, solvente de limpeza); dispersão de pigmentos abaixo ou acima do especificado; a ordem de adição dos materiais; a variabilidade dos testes de controle de qualidade; e até erro em operações manuais (Snell e Klimpel, 2001; Pfeil, 2000).

Teoricamente seria possível controlar todos estes parâmetros de modo a obter-se FRC maior que 75%. Porém, a dificuldade está em fazer isto a um custo competitivo. São sugeridos trabalhos em parceria com fornecedores estratégicos, como alternativa de menor custo, de modo a aumentar a eficiência de produção, gerando benefícios mútuos (Snell e Klimpel, 2001).

Um indicador interessante da variabilidade dos processos pode ser as estatísticas de reclamações de clientes. A maioria das reclamações de clientes, das empresas de tintas em geral, está relacionada ao controle de manufatura. Dentro dos controles, o parâmetro viscosidade é um dos mais reclamados. Um controle eficiente da viscosidade significa medir e ajustar a viscosidade com acurácia, produzindo lotes consistentes, e assegurando-se que as fórmulas possuam viscosidades e teor de sólidos compatíveis com as especificações (Ronney, 1991).

### 2.5.5 Viscosidade de Tintas

A viscosidade é a resistência de um fluido ao escoamento, definida como a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento. No caso de líquidos ideais, também chamados de Newtonianos, esta razão é constante, isto é, a viscosidade é independente da taxa ou da tensão de cisalhamento. É o caso de líquidos compostos por moléculas pequenas,

miscíveis, soluções de resinas em solventes verdadeiros e dispersões de partículas rígidas em um fluido Newtoniano, desde que não haja interações partícula-partícula (Wicks *et al*, 1992).

Outros fluidos apresentam comportamentos distintos, dependentes da taxa ou da tensão de cisalhamento. São os chamados fluidos não-Newtonianos, que podem ser pseudoplásticos, quando a viscosidade diminui com o aumento do cisalhamento, ou dilatantes, quando a viscosidade aumenta. Há ainda um terceiro tipo de comportamento, o plástico, quando só acontece fluidez a partir de um valor mínimo de tensão aplicada. Exemplos de fluidos pseudoplásticos são emulsões e fluidos com interação partícula-partícula, e de dilatantes, algumas dispersões de resinas e pigmentos. Há um outro tipo de sistema, dentro dos fluidos pseudoplásticos, chamado tixotrópico, onde o escoamento é dependente do tempo e do histórico anterior de cisalhamento (Wicks *et al*, 1992; Schoff, 1976).

Existe uma grande variedade de instrumentos para determinação da viscosidade, desde viscosímetros sofisticados, de grande precisão e capazes de medir efeitos dependentes do tempo, até os mais simples e baratos. Os viscosímetros de “cone e placa”, por exemplo, são aplicáveis a líquidos não-newtonianos, incluindo tintas, e proporcionam a maior acurácia para uma ampla faixa de taxas de cisalhamento (Wicks *et al*, 1992).

O equipamento mais amplamente utilizado para a medição da fluidez de tintas industriais é o viscosímetro de orifício, ou de copo, que mede o tempo de escoamento de um determinado volume de fluido, ao passar por um orifício de tamanho padrão. Entre os vários modelos comercializados, um dos mais comuns é o copo Ford 4. Embora mensure a viscosidade de forma indireta e não seja apropriado para fluidos não-newtonianos, é freqüentemente utilizado no controle de qualidade da viscosidade de tintas, principalmente as pseudoplásticas, devido principalmente a sua simplicidade e facilidade de manejo (Llacuna, 1997; Wicks *et al*, 1992). Estudos com este tipo de instrumento têm reportado reprodutibilidade da ordem de 18 a 20% (Schoff apud Wicks *et al*, 1992).

A variabilidade nas medições de viscosidade de tintas geralmente estão associadas a deficiências no controle de temperatura, possíveis perdas de solvente, e principalmente pela comparação de amostras com diferentes histórias de cisalhamento. Como a viscosidade dos líquidos depende fortemente da temperatura (em geral, quanto mais alta a temperatura, mais baixa a viscosidade), é extremamente importante garantir o teste seja realizado com a amostra em uma temperatura constante e conhecida. (Wicks *et al*, 1992; Schoff, 1976).

O estudo da viscosidade está inserida dentro da ciência chamada reologia, que avalia a deformação e o escoamento dos fluídos. A natureza e a proporção em volume dos componentes das tintas (pigmentos, resinas, solventes e aditivos) têm um efeito marcante na sua reologia. Sob condições de alto cisalhamento (durante a aplicação, por exemplo) predomina o efeito dos componentes principais: pigmentos, resinas e solventes. Em condições de baixo cisalhamento, entretanto, a presença de aditivos especiais (chamados aditivos reológicos) é que determina as propriedades reológicas da tinta (Hare, 1991; Schoff, 1976).

Cada uma das operações realizadas com tintas está associada a uma determinada característica reológica. Durante a manufatura, é importante que a massa de moagem seja viscosa o bastante para gerar taxas de cisalhamento altas, produzindo energia suficiente para a obtenção de uma boa dispersão. Nesta fase, a massa deveria ser mais newtoniana que tixotrópica. Na fase de estocagem, onde se tem longos períodos de baixo cisalhamento, os aditivos reológicos promovem uma alteração completa no comportamento reológico da tinta. Eles formam uma estrutura de gel, através de uma rede de ligações secundárias, que evita o movimento dos pigmentos no interior da tinta. No momento da preparação para aplicação, esta estrutura de gel deve ser facilmente desfeita, sob agitação da tinta, de modo a possibilitar a sua re-homogeneização e diluição (Hare, 1991).

A viscosidade de aplicação das tintas tem um grande impacto na qualidade dos produtos pintados. Se a viscosidade for muito alta, podem ocorrer defeitos no filme, tais como fervura (bolhas) e textura irregular. Se, por outro lado, a viscosidade for muito baixa, a tinta pode escorrer, não sendo possível a obtenção de uma espessura de filme uniforme. Assim, para aplicações com alta exigência de qualidade, é muito importante o controle da viscosidade de aplicação das tintas. Linhas de pintura automotiva, por exemplo, costumam trabalhar com um sistema de controle automático, *in-line*, da viscosidade. Este tipo de sistema mede a viscosidade absoluta da tinta com acurácia de  $\pm 1\%$  e repetibilidade da ordem de  $\pm 0,5\%$  (MacNeill, 2000).

### **3 MODELO DE MELHORIA SEIS SIGMA**

A metodologia Seis Sigma sugere a adoção do modelo de melhoria conhecido como DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*, ou Definir, Medir, Analisar, Aprimorar, Controlar). O DMAIC, quando comparado a outros modelos, como por exemplo o ciclo PDCA (*Plane, Do, Control, Act*, ou Planejar, Executar, Controlar, Agir), apresenta algumas vantagens, tais como: prioriza clientes e medição, dando ênfase às necessidades dos clientes e considerando a medição como um esforço fundamental e que deve ser contínuo; e oferece caminhos tanto de melhoria de processo, quanto de reprojeto de processo, auxiliando na escolha entre consertar ou reprojeter (Pande, 2001).

As fases do DMAIC poderiam ser visualizadas como divididas em dois grupos: caracterização e otimização. A caracterização engloba a definição, mensuração e análise, e tem como objetivo obter uma descrição do processo, seu fluxo, suas saídas, o desempenho atual, as variáveis envolvidas e o seu impacto no resultado. A otimização é composta pelas fases aprimorar e controlar, onde se visa a otimização e controle dos parâmetros do processo (Campos, 2001).

#### **3.1 Definir o Projeto**

Nesta primeira etapa, deve ser feita a definição do problema, seus alcances e limites, e também do que é considerado um defeito.

A seguir, devem ser declarados os objetivos do projeto, o prazo estimado e/ou cronograma, e, se possível, um alvo mensurável para os resultados desejados. Devem ser

listadas as Características Críticas para a Qualidade, CTQ's , isto é, os indicadores primários do projeto, bem como as métricas que serão utilizadas. As CTQ's servirão justamente para avaliar a efetividade da(s) melhoria(s) introduzida(s). Além destes itens, também deve ser definida a equipe, o líder do projeto e a estimativa do seu impacto financeiro.

Todos os pontos citados acima são geralmente documentados na chamada “Carta de Projeto”. Esse documento é importante para assegurar aos membros da alta administração, e também aos patrocinadores do projeto, que as suas expectativas serão atendidas (Pande, 2001).

### **3.2 Medir o Defeito**

A etapa de mensuração objetiva principalmente a caracterização da(s) variável(is) de resposta, e também a coleta de outros dados complementares. Esta fase compreende a elaboração do mapeamento do processo, a análise do sistema de medição e podem ser determinadas a estabilidade e a capacidade corrente do processo (Campos, 2001). Também podem ser medidos o nível sigma e o rendimento do processo (Breyfogle, 1999).

A medição é provavelmente o maior investimento que uma organização pode fazer em sua iniciativa Seis Sigma. A longo prazo, obtém-se uma infra-estrutura de medição de extrema importância, a qual permitirá monitorar o processo e responder rapidamente a mudanças (Pande, 2001).

### **3.3 Analisar os Dados**

O objetivo desta fase é compreender a origem dos defeitos. A partir de pelo menos uma medição sólida, repetitiva, que confirme o problema, é possível fazer-se a transição da fase de Medida para a de Análise.

A análise pode ser vista como um ciclo, impulsionado pela geração e avaliação de hipóteses quanto às causas do problema. A escolha das ferramentas a utilizar vai depender muito do processo e da maneira com que é abordado o problema (Pande, 2001). Geralmente, as ferramentas mais direcionadas a esta etapa são: análise de variância, análise de correlação, regressão múltipla, teste de hipótese e diagrama e matriz de causa e efeito.

As informações obtidas a partir da análise dos dados devem indicar fontes de

variabilidade e desempenho insatisfatório. Assim, ao final desta fase, deve ser possível elaborar uma listagem com os “X” potenciais, isto é, com os prováveis fatores de variação ou causas-raízes.

### **3.4 Aprimorar o Processo**

O foco desta etapa é a otimização do processo, e o aprimoramento das características dos produtos, visando atingir os alvos de desempenho técnico e financeiro estabelecidos na fase inicial.

Para que isto seja possível, é necessário que se faça a confirmação das causas-raízes e a quantificação do efeito destas variáveis nas características dos produtos. A ferramenta mais recomendada para este fim é o uso de Projeto de Experimentos (*Design of Experiments – DOE*). O uso de DOE é considerado essencial para a rápida otimização de processos e para a correção de processos problemáticos, pois ele indica claramente quais as mudanças devem ser feitas nos fatores de variação (Kaufman apud Van Arnum, 2001).

### **3.5 Controlar o Processo**

A partir dos resultados obtidos nas etapas anteriores, são sugeridas melhorias a serem implementadas ou pontos interessantes para investimentos futuros. O módulo controlar tem como objetivo institucionalizar as mudanças concebidas, de forma a garantir uma solução permanente (Campos, 2001). Isto é, uma vez identificados os parâmetros influentes, os seus níveis ótimos de *set-up* e as correspondentes amplitudes de variação aceitáveis, é importante garantir que estas condições se mantenham ao longo do tempo.

Assim, é muito importante uma etapa final, onde sejam preparados planos de controle e seja atualizada toda a documentação referente ao projeto. Os controles normalmente mais recomendados são Controle Estatístico de Processo (CEP), dispositivos *Poka Yoke* (a prova de falhas) e *Design for Six Sigma*, ou Projeto para Seis Sigma (DFSS). Esse último se refere a concepção de processos com controles automáticos, onde a intervenção e monitoramento sejam mínimos.

Também é de grande valia a preparação de um plano para a transmissão do projeto para os proprietários do processo. Esse planejamento deve conter um plano de controle, um plano de transição e um plano de auditoria. O sistema de controle deve estar integrado com o

sistema da qualidade e outros, como por exemplo, o *Total Productive Maintenance* (TPM) ou Manutenção Produtiva Total (Campos, 2001).

## **4 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO, RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo é apresentado um estudo de caso realizado em uma planta produtiva de tintas industriais, localizada na grande Porto Alegre. Mais especificamente, o processo estudado foi o utilizado para a fabricação de tintas de acabamento, *primers* (fundos) e bases de mistura. Esses produtos, ao contrário dos chamados complementos, que incluem diluentes, *thinners* e catalisadores, são produzidos a partir de um maior número de operações, de maior grau de complexidade, e requerem uma série de controles na sua liberação, entre eles, o controle da viscosidade.

Como este trabalho é um projeto Seis Sigma da empresa onde foi realizado o estudo, contou com total apoio e incentivo ao seu desenvolvimento. A autora participou ativamente de todas as etapas do trabalho, uma vez que atuou como líder de projeto.

O item 4.1 apresenta algumas características específicas dos processos empregados por esta indústria de tintas; o item 4.2 apresenta a etapa de definição, do método Seis Sigma; o item 4.3 a fase de medição; o item 4.4. a fase de análise; e o item 4.5, a etapa de aprimoramento do processo. No item 4.6 são apresentadas algumas observações sobre os resultados e, no item 4.7, é conduzida a etapa de controle.

### **4.1 Particularidades do Processo de Fabricação**

Um fluxograma do processo genérico de fabricação de tintas, alvo deste estudo, pode ser visualizado na Figura 4.1.

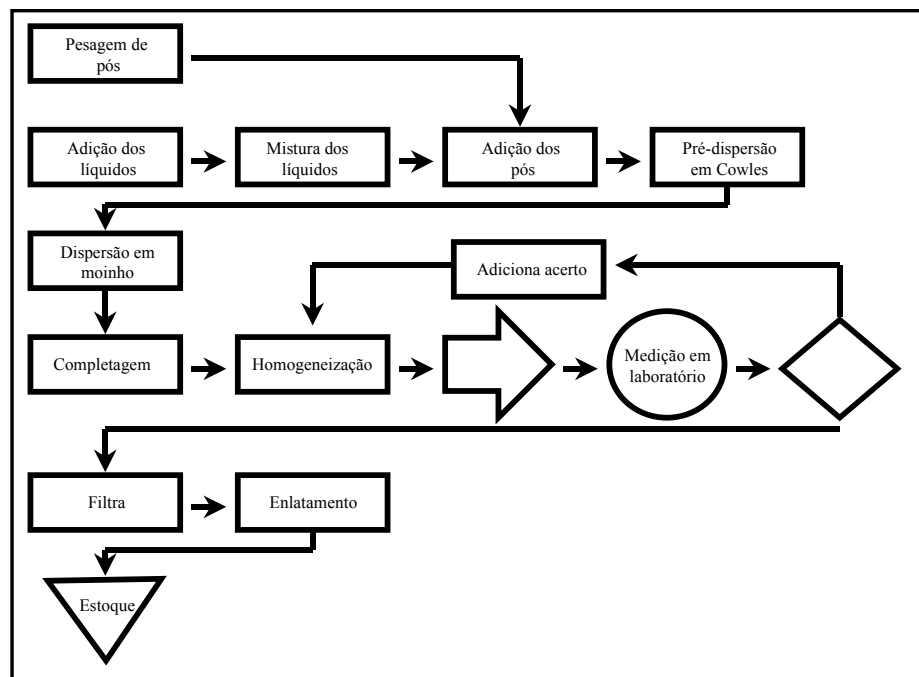


Figura 4.1 Fluxograma do processo de produção de tintas

O perfil de produção é bastante variado, característico do segmento de mercado de tintas indústrias, classificado como Indústria Geral. São produzidos cerca de 600 lotes por mês, correspondentes a 150 produtos diferentes. Isto é, são produzidos poucos lotes de muitos produtos diferentes, em média apenas 4 lotes por produto, por mês. Na Figura 4.2 pode ser visualizado o gráfico que retrata este perfil.

A maioria dos equipamentos de produção é das décadas de 60 a 80, de fabricação própria, com base em modelos de moinhos antigos fabricados pela Chicago Boiler Company. Todos os *cowles*, moinhos, tachos e tanques de completagem operam em sistema aberto. Isto é, possibilitam perdas de solvente por evaporação durante o processamento. A operação é toda manual; nenhuma etapa do processo é automatizada.

Os moinhos são verticais, contínuos, de tamanhos de cuba variando de 1,5 a 30 galões, e do tipo “P”, isto é, a alimentação é feita por baixo da cuba. A seleção do moinho a ser utilizado é feita normalmente com base no tamanho do lote, seguindo uma escala de faixa de

volume da massa de moagem x volume da cuba (capacidade do moinho).

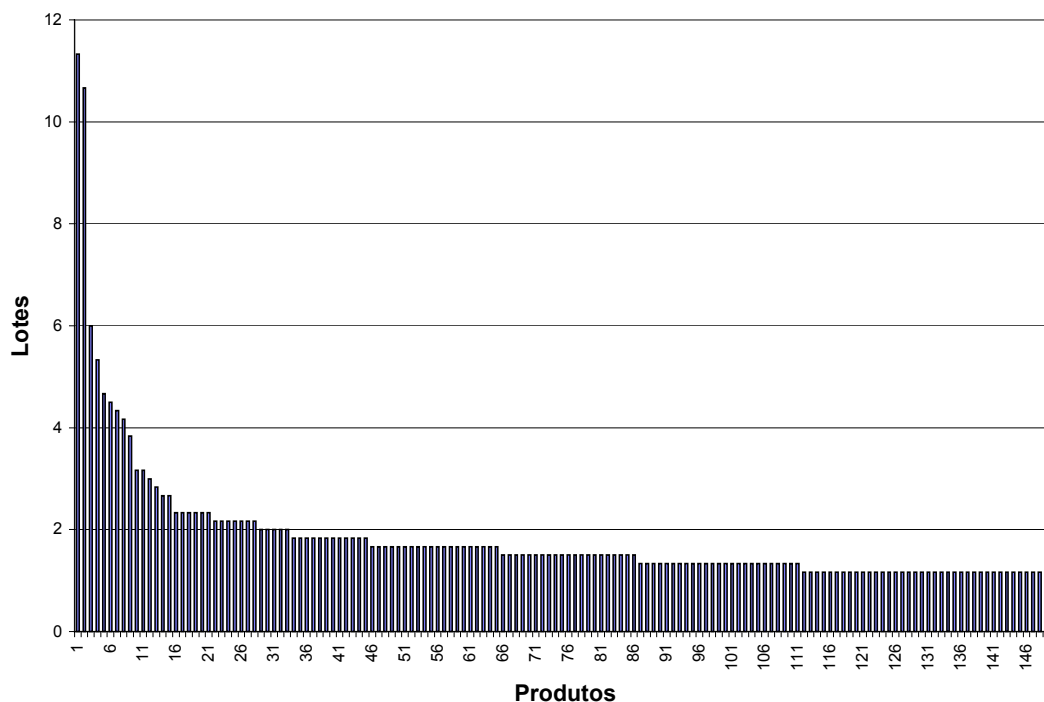


Figura 4.2 Número de lotes produzidos por produto (150 produtos diferentes)

Normalmente as massas de moagem são formuladas de modo a resultar em viscosidades na faixa de 70 a 100 KU's (unidades de medida de viscosímetro *Krebs-Stormer*, de pá, indicado para fluídos tixotrópicos ou de viscosidade alta). Geralmente passa-se a massa de moagem pelo moinho 2 vezes, mas, eventualmente, dependendo do moinho e do produto, podem ser necessárias mais passadas. Em média, esta operação, que é a mais demorada (não considerando a etapa de testes), despende de 5 a 12 horas de produção.

Ao final da dispersão, lava-se o interior do moinho com a passagem, através do leito de moagem, de uma mistura de resina e solvente, conforme indicado na ordem de produção (cerca de 2 a 7% em peso da fórmula). São feitas lavagens posteriores, com um mínimo de solvente, para limpeza localizada da tela e da cuba.

Como este tipo de procedimento de limpeza não é muito eficiente, para o caso de

produção de tintas brancas, ou outros produtos com alta exigência de cor, trabalha-se, sempre que possível, com moinhos dedicados, isto é, são reservados moinhos para preparação apenas dos produtos de cor branca.

Para a produção de acabamentos, fundos e bases, os moinhos não dispõem de controladores de fluxo. O fluxo é “ajustado” pelos operadores dos moinhos, através de reguladores simples de vazão das bombas. Essa “regulagem”, que dificilmente se mantém constante durante o processamento, depende da viscosidade da massa de moagem e da eficiência das bombas. A definição da vazão é feita pelos operadores, com base na avaliação visual do aspecto da tinta na saída do moinho. Somente os moinhos dedicados à produção de concentrados de pigmento, tecnicamente produtos de maior grau de dificuldade e exigência, possuem dispositivos adequados de controle de fluxo.

Na planta em estudo, os próprios “testadores”, funcionários responsáveis pelos testes dos parâmetros de liberação, executam a adição de materiais corretivos aos lotes. Admitem-se como normais adições de concentrados de até 3%. Adições de até 5% de resina e de até 0,5% de fosqueador são consideradas aceitáveis.

O acerto de viscosidade, citado nos capítulos iniciais, é feito, a princípio, através da adição do solvente previsto na fórmula. Isto é, o último item do roteiro de produção de cada produto é um percentual de solvente, que não é adicionado diretamente ao lote. Antes da sua adição, é feita uma medição da viscosidade até este ponto (após o final da completagem), e então definida a quantidade realmente necessária. Este montante pode ser a quantidade prevista, uma quantidade maior que a prevista, ou até pode não ser necessária adição de solvente, mas sim de algum material para aumentar a viscosidade – caso em que a viscosidade antes do acerto está abaixo da faixa especificada. Para o parâmetro viscosidade, são aceitáveis adições de até 5% de solvente, ou então, até 0,5% de espessante.

## **4.2 Definição**

Na Figura 4.3 é apresentada a “carta de projeto”, onde estão documentadas as informações que definem o projeto.

Conforme já apresentado no capítulo 1.3, Justificativa do Tema e Objetivos, o Problema em questão é o alto número de desvios de viscosidade, com conseqüente retrabalho dos lotes, gastos adicionais de matéria-prima, ocupação de operadores e equipamentos, e

aumento do *lead-time* fabril.

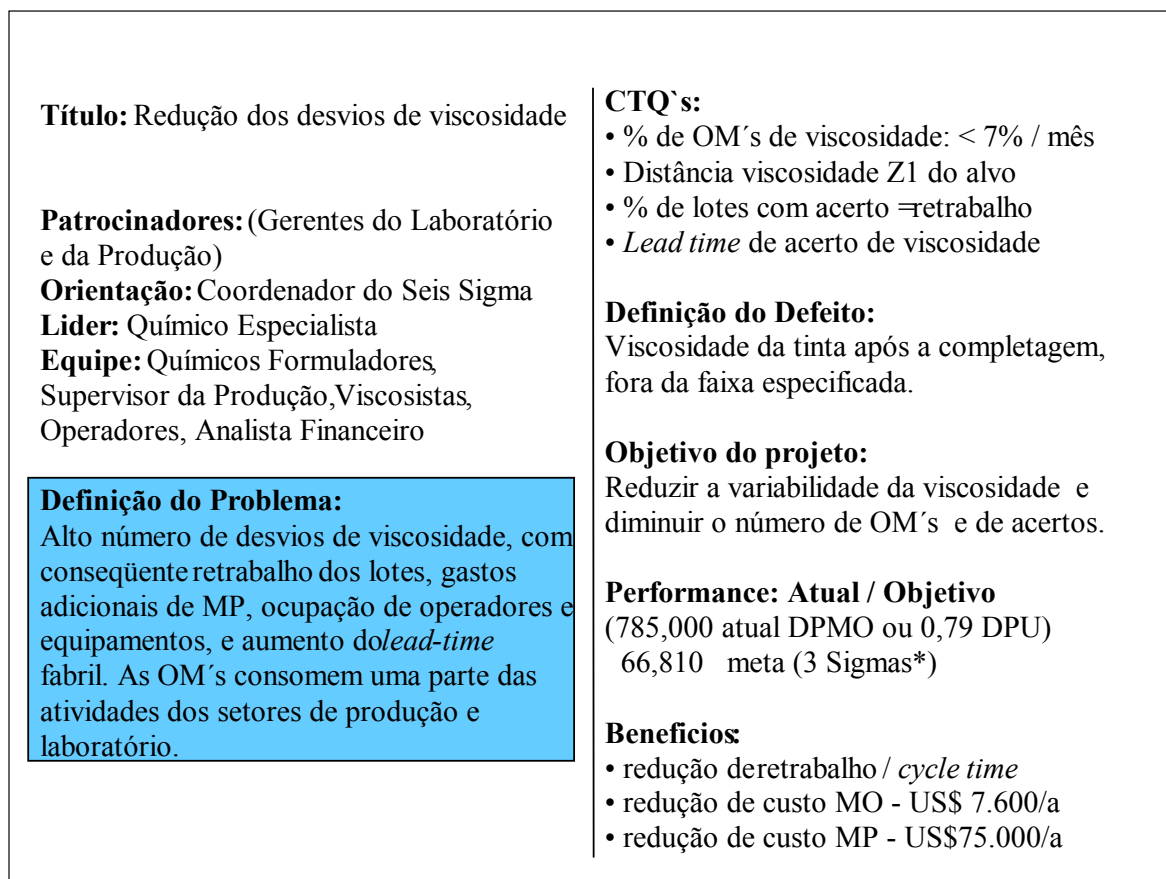


Figura 4.3 Carta de Projeto

Em decorrência da existência destes desvios, o acerto de viscosidade atualmente é rotina do processo produtivo, isto é, faz parte do processo como uma etapa final. O Defeito foi definido, portanto, como viscosidade da tinta após a etapa de completagem, fora da faixa especificada. Como para a viscosidade só há uma oportunidade de erro por lote, o número de defeitos corresponde ao número de lotes defeituosos.

Os objetivos do projeto, bem como os alcances e limitações, já foram detalhados respectivamente nas seções 1.2 e 1.5, e o prazo previsto para execução foi de 6 meses.

Como o desempenho atual do processo com relação ao defeito definido era inicialmente desconhecido, mas sabidamente ruim, tomou-se como meta atingir um nível Sigma 3 (com distribuição deslocada), ou seja, 6,68% de lotes defeituosos. O DPMO (defeitos

por milhão de oportunidades) e DPU (defeitos por unidade) atuais foram calculados a partir dos dados coletados no estudo de estabilidade (ver seções 4.3.5 e 4.3.6).

A estimativa do benefício financeiro é detalhada na seção 4.2.2.

#### 4.2.1 Características Críticas da Qualidade – CTQ's

Atualmente existem duas maneiras de medir o retrabalho relativo à viscosidade: a primeira é a medição do número de lotes que necessitaram de qualquer tipo de acerto, em relação ao número total de lotes controlados produzidos; a segunda leva em conta o número de Oportunidades de Melhoria, ou OM.

Uma Oportunidade de Melhoria é considerado todo o produto cujo lote necessitar adições de materiais extras à fórmula, acima dos limites máximos estabelecidos. Ou seja, para o parâmetro viscosidade, um produto é registrado como OM quando um lote necessitar adição maior que 5% de solvente – caso em que a viscosidade obtida ficou acima do limite superior especificado, ou então necessitar mais de 0,5% de espessante – quando a viscosidade ficar abaixo do limite inferior, mesmo sem a adição de todo o solvente da fórmula. Esta, portanto, é uma situação de desvio ainda mais crítica, pois, neste caso, a(s) matéria(s)-prima(s) a mais utilizada(s) não esta(ão) prevista na fórmula, ocasionando problemas para o setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP) e para o cálculo do custo do produto.

Além do retrabalho dos lotes, no caso das OM's, ainda há a necessidade de um esforço adicional do setor de Produção, e também da área de Desenvolvimento, no acompanhamento de lotes e/ou alteração de fórmulas.

Em função das definições acima, foram elencados os seguintes itens para servirem de indicadores primários para o projeto, chamados de Características Críticas da Qualidade:

- Percentual de lotes defeituosos – é o indicador direto do desempenho do processo. É calculado dividindo-se o número de lotes que necessitaram de acerto de viscosidade após a etapa de completagem, pelo número total de lotes controlados analisados. Como não existem dados históricos confiáveis, os dados do estudo de estabilidade do processo servirão de base para o cálculo do valor atual.
- Percentual de OM's de viscosidade – obviamente, se há uma redução na variabilidade da viscosidade, o número de lotes com desvios além dos limites admissíveis também deve

diminuir. Como esta métrica já é rotina do setor de produção, sabe-se que as OM's de viscosidade representam, historicamente, cerca de 7% dos lotes controlados produzidos (ver seção 4.3.3).

- Distância média da viscosidade (logo após a completagem) do alvo – o objetivo aqui é ter-se uma idéia da dimensão do desvio. Espera-se que com as melhorias, a amplitude dos desvios seja menor, isto é, a distância da viscosidade final em relação à viscosidade alvo deve diminuir. Neste caso, novamente, a condição atual e futura será verificada pelo estudo de CEP.
- Lead time médio do acerto de viscosidade – é uma forma de se medir a alocação de recursos de mão-de-obra referentes aos acertos. Comparando-se dados atuais com dados futuros, obtém-se um indicativo de uma parcela do benefício financeiro possível.

#### 4.2.2 Estimativa Financeira

Do ponto de vista financeiro, são previstos principalmente benefícios a nível de custo, isto é, pela diminuição no consumo de matérias-primas e redução em mão-de-obra .

De uma maneira bem simplificada, a redução nos gastos com matérias-primas pode ser estimada considerando-se apenas as reposições de solvente que, com base em dados históricos, é em média de 5% sobre o total do lote, conforme apresentado abaixo:

$$100.000 \text{ galões produzidos (controlados)/mês} \times 3,6 \text{ litros/galão} = 360.000 \text{ litros de tinta /mês}$$

$$360.000 \text{ litros de tinta/mês} \times 0,05 \text{ reposição média de solvente} = 18.000 \text{ litros de solvente/mês}$$

$$18.000 \text{ litros de solvente/mês} \times \text{US\$ } 0,354/\text{L} = \text{US\$ } 6.228/\text{mês} \text{ ou } \text{US\$ } 75.000/\text{ano}$$

Para a estimativa de gastos com mão-de-obra, consideraram-se apenas as horas referentes à operação de acerto de viscosidade:

$$2 \text{ viscosistas} \times 198\text{h/mês} = 396 \text{ horas de viscosista/mês} \quad (\text{atuais})$$

$$600 \text{ lotes/mês} \times 10 \text{ minutos para medição da viscosidade/lote} = 100 \text{ horas/mês (melhoria)}$$

$$396 \text{ horas/mês} - 100 \text{ horas/mês} = 296 \text{ horas de acerto de viscosidade/mês}$$

$$296 \text{ horas de acerto de viscosidade/mês} \times \text{US\$ } 2,15/\text{hora viscosista/mês} = \text{US\$ } 636,40/\text{mês}$$

ou aproximadamente **US\$ 7.600 / ano**

$$\text{US\$ } 75.000/\text{ano} + \text{US\$ } 7.600/\text{ano} = \text{US\$ } 82600/\text{ano}$$

Esta estimativa inicial de economia de US\$ 82.600/ano poderá ser melhorada após a coleta dos dados reais de consumo extra de solvente ou espessante e após o acompanhamento do *lead time* de acerto de viscosidade. Além deste benefício, prevêem-se outros, como redução do tempo de ocupação de equipamentos e de gastos com energia. Porém, devido às dificuldades para a avaliação destes custos e pelo provável baixo valor correspondente, estes ganhos não serão considerados.

### 4.3 Mensuração

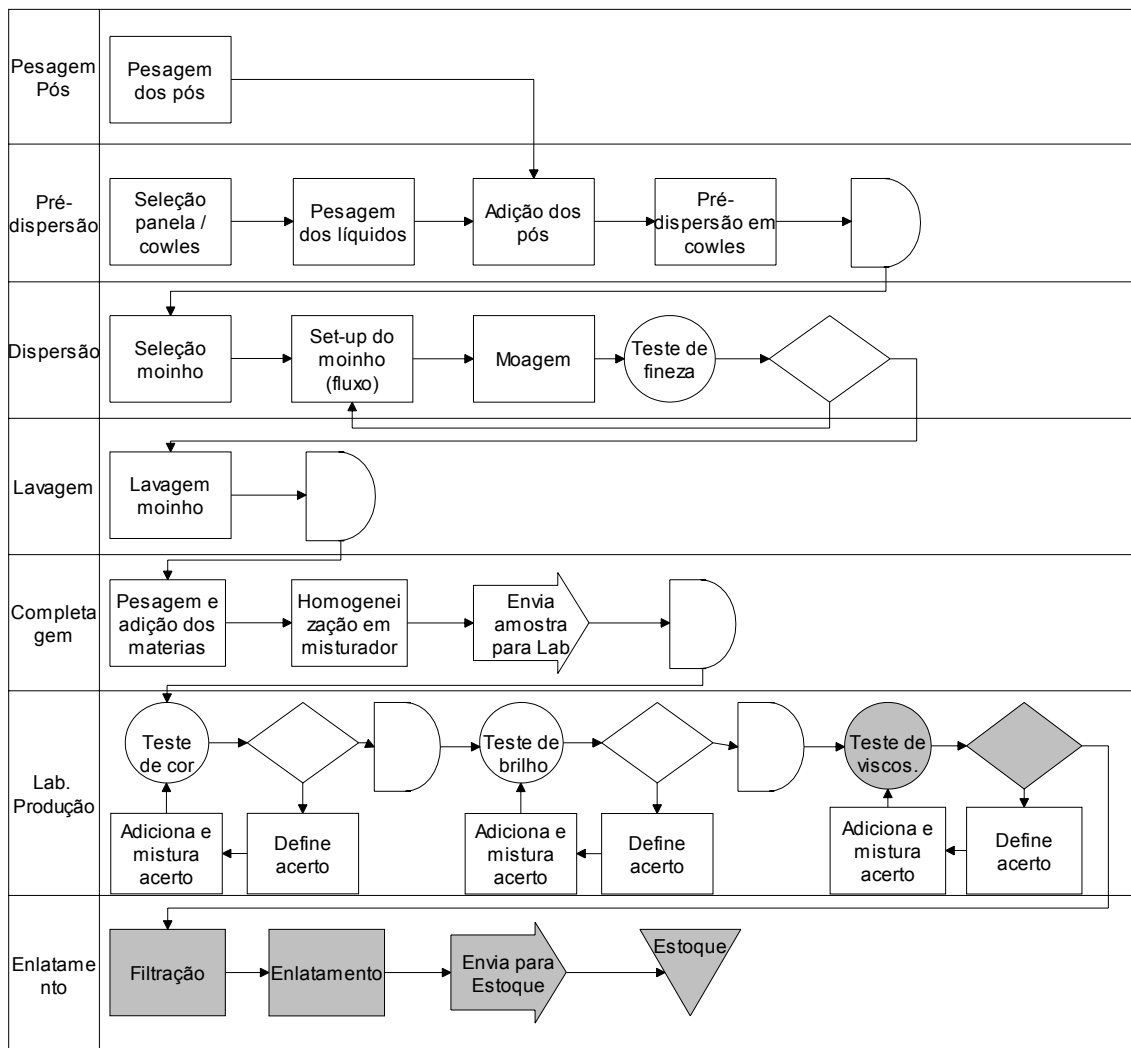
#### 4.3.1 Mapeamento dos Processos

A seguir são apresentados dois mapas de processo importantes para a identificação ou verificação dos fatores atuantes na variabilidade da viscosidade.

O primeiro mapa, Figura 4.4, é muito parecido com o fluxograma apresentado na Figura 4.1. Porém, além de proporcionar uma visão geral do processo em maior detalhe, ele sinaliza os pontos de decisão e espera, bem como os grupos de retrabalho. Observam-se 4 ciclos de retrabalho, 4 pontos de medição e 5 esperas. A presença de 3 ciclos de retrabalho na fase de laboratório justifica a parcela grande de tempo gasto nesta etapa. As etapas sombreadas sinalizam a junção dos dois mapas.

O segundo mapa, Figura 4.5, retrata em maior detalhe o processo específico de acerto de viscosidade. Pode-se observar que, caso sejam necessários acertos, o fluxo de retrabalho pode ser demorado e bastante complexo, dependendo do tipo de operação necessária.

Por exemplo, se a viscosidade ficar abaixo da faixa, a correção pode ser a adição de algum tipo de espessante que necessite ser moído, o que significaria passar novamente pelas etapas da fase de dispersão e pelos ajustes de cor e brilho. É por isso que as fórmulas são elaboradas de modo que a viscosidade, após a completagem, fique preferencialmente acima da faixa especificada. Neste caso, a correção se resume a adição de solvente e incorporação por simples mistura. Porém, se a viscosidade inicial estiver dentro da faixa de liberação, o processo fica ainda mais simplificado (fluxo sombreado).



Legenda:

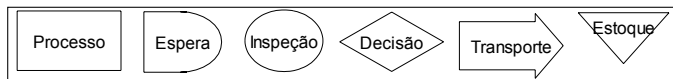


Figura 4.4 Mapa do processo de fabricação em moinho

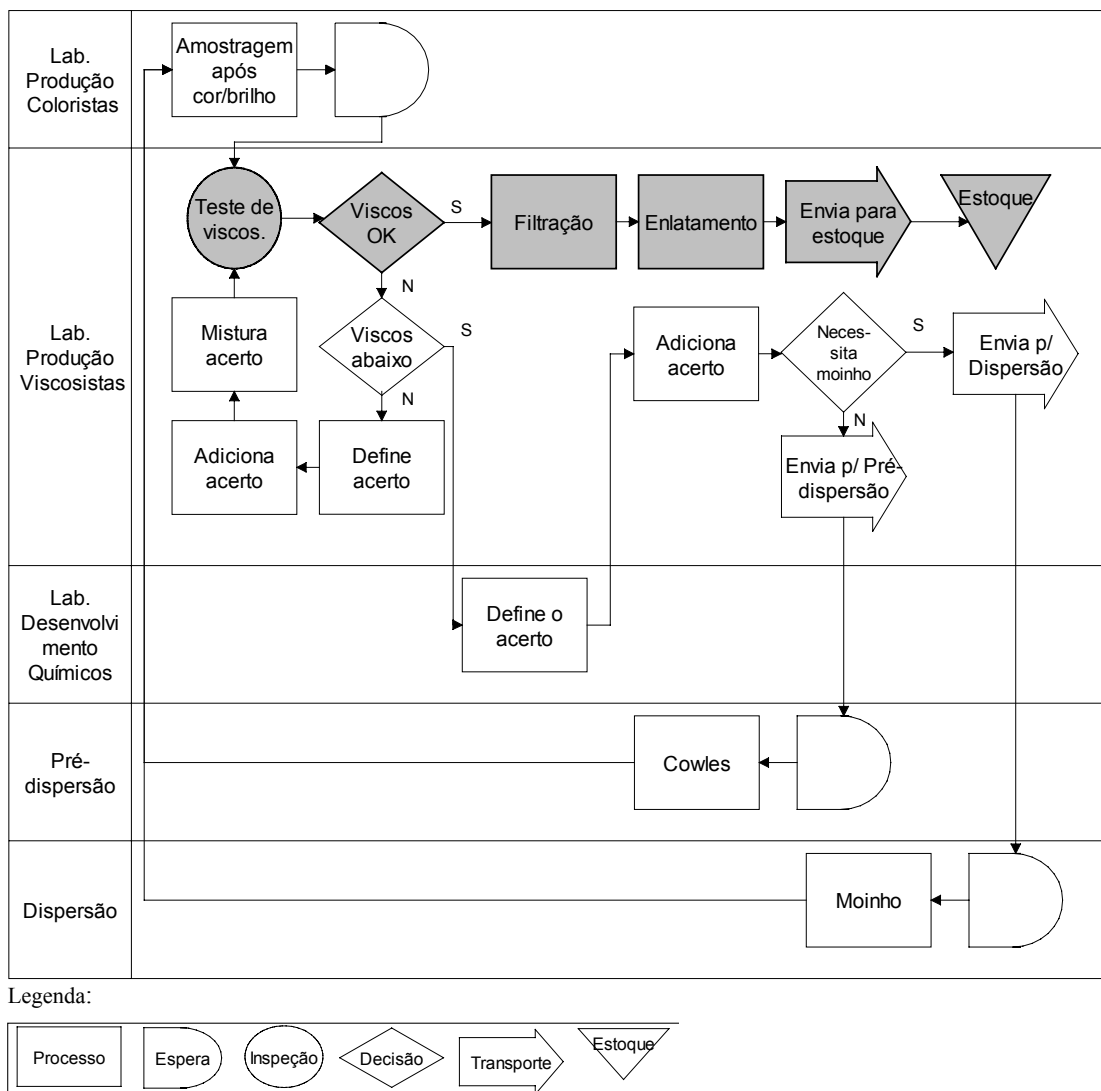


Figura 4.5 Mapa do processo de acerto de viscosidade

#### 4.3.2 Análise do Sistema de Medição

Como o foco deste trabalho é a redução dos desvios de viscosidade, este parâmetro será bastante utilizado em medições e análises ao longo do projeto. Portanto, é de fundamental importância que estas determinações sejam confiáveis. Além disto, o próprio sistema de medição pode causar, ou, pelo menos, contribuir para os desvios.

Neste sentido, a primeira providência tomada foi a execução de um estudo de R&R (Repetitividade e Reprodutibilidade). O estudo se restringiu ao método de determinação de viscosidade em Copo Ford #4, método utilizado para avaliação da grande maioria dos lotes

controlados (cerca de 90%), e que se baseia no tempo de escoamento do fluido em copo padrão.

A avaliação do sistema atualmente utilizado que, a princípio, seguiria a norma interna NTD 102-04 (1996), foi realizada conforme descrito abaixo:

- 2 operadores: um do Laboratório e um da Produção;
- 3 repetições para cada tinta testada;
- 8 tintas diferentes, com variadas faixas de viscosidade (cada uma das 8 tintas foi dividida em 6 amostras, as quais foram aleatoriamente distribuídas para as medições);
- todas as medições foram feitas no mesmo dia; e
- cada operador fez as medições no seu setor, com o seu equipamento.

Como cada operador executou as medições com equipamentos diferentes, na análise de reprodutibilidade está sendo avaliado o conjunto equipamento / operador. Porém, como os copos e orifícios haviam sido previamente calibrados com uma faixa de variação bastante estreita, a contribuição da diferença de equipamento na reprodutibilidade deve ter ficado bastante reduzida.

|                          | LABORATORIO |    |    | R     | PRODUÇÃO |    |    | R     | Média Tintas |
|--------------------------|-------------|----|----|-------|----------|----|----|-------|--------------|
| 1                        | 49          | 46 | 48 | 3     | 53       | 53 | 52 | 1     | 50,167       |
| 2                        | 60          | 60 | 62 | 2     | 65       | 67 | 64 | 3     | 63,000       |
| 3                        | 84          | 85 | 93 | 9     | 96       | 89 | 91 | 7     | 89,667       |
| 4                        | 38          | 39 | 37 | 2     | 36       | 36 | 36 | 0     | 37,000       |
| 5                        | 48          | 48 | 50 | 2     | 52       | 54 | 54 | 2     | 51,000       |
| 6                        | 78          | 75 | 78 | 3     | 76       | 73 | 80 | 7     | 76,667       |
| 7                        | 16          | 16 | 16 | 0     | 16       | 16 | 16 | 0     | 16,000       |
| 8                        | 31          | 31 | 30 | 1     | 33       | 32 | 33 | 1     | 31,667       |
| médias                   | 50,750      |    |    | 2,750 | 53,042   |    |    | 2,625 |              |
| <b>Repetitividade</b>    |             |    |    |       |          |    |    |       |              |
| Rbar=                    | 2,688       |    |    | VE%=  | 40,493   |    |    | p/20s |              |
| DesvioP.Dispositivo=     | 1,573       |    |    |       |          |    |    |       |              |
| VE=                      | 8,099       |    |    |       |          |    |    |       |              |
| <b>Reprodutibilidade</b> |             |    |    |       |          |    |    |       |              |
| Ro=                      | 2,292       |    |    | VO%=  | 40,995   |    |    | p/20s |              |
| VO=                      | 8,199       |    |    |       |          |    |    |       |              |
| DesvioP.Operador=        | 1,592       |    |    |       |          |    |    |       |              |
| <b>R&amp;R</b>           |             |    |    |       |          |    |    |       |              |
| DesvioM=                 | 2,238       |    |    | R&R%= | 57,622   |    |    | p/20s |              |
| R&R=                     | 11,524      |    |    |       |          |    |    |       |              |

Figura 4.6 Avaliação do sistema de medição atual

Nos cálculos, utilizou-se como base de comparação o intervalo das especificações, isto é, a tolerância, que normalmente é de 20 segundos. O método utilizado foi o da média e amplitude (Xbar e R), detalhado na seção 2.4.3 (ver Quadro 2.1). A Figura 4.6 apresenta os resultados deste primeiro estudo.

O usual é que o valor de R&R fique pelo menos abaixo de 30% para que o sistema possa ser aceito. Como obteve-se 57,6%, o sistema de medição atual foi rejeitado (mais da metade da tolerância está sendo consumida pelo erro do sistema de medição e, muito provavelmente, o sistema de medição está contribuindo para o alto número de desvios).

Para a melhoria do sistema de medição foi desenvolvida a proposta descrita abaixo:

Determinação da viscosidade em Copo Ford, respeitando a NTD 102-04 (1996), porém incluindo alguns controles ou cuidados adicionais, principalmente com relação ao controle de temperatura:

- climatização do copo e da amostra, utilizando camisa conectada a banho com controle de temperatura adequado – ver fotos no Anexo 1;
- copo deve ficar acoplado à camisa por pelo menos 5 minutos, a fim de equilibrar a sua temperatura com a do banho ( $25^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ), antes da adição da tinta;
- a tinta já deve estar previamente ambientada, no próprio banho;
- após a adição da tinta, deve-se aguardar no mínimo 1 minuto para a estabilização da temperatura da tinta;
- caso houver formação / presença de bolhas na tinta, deve-se aguardar a sua completa saída antes de proceder a medição;
- a remoção do excesso de tinta deve ser feita com a utilização de uma placa de vidro, que deve ser passada na horizontal, de modo a evitar que volte a ser formado um menisco;
- caso a viscosidade fique abaixo de 30 segundos, fazer a medição usando o copo Ford #1.

Seguindo esta proposta de método, foi conduzida uma nova avaliação do sistema de medição, nos mesmos moldes da anterior: 2 operadores, 3 repetições, 8 tintas de diferentes faixas de viscosidade. Na Figura 4.7 são apresentados os resultados das novas determinações.

|                          | OPERADOR 1 |    |    | R     | OPERADOR 2 |    |    | R     | Média Tintas |
|--------------------------|------------|----|----|-------|------------|----|----|-------|--------------|
| 1                        | 62         | 63 | 62 | 1     | 60         | 61 | 60 | 1     | 61,333       |
| 2                        | 74         | 73 | 77 | 4     | 77         | 75 | 77 | 2     | 75,500       |
| 3#1                      | 46         | 46 | 46 | 0     | 46         | 46 | 46 | 0     | 46,000       |
| 4                        | 41         | 42 | 41 | 1     | 40         | 42 | 40 | 2     | 41,000       |
| 5                        | 43         | 43 | 43 | 0     | 41         | 42 | 42 | 1     | 42,333       |
| 6                        | 77         | 77 | 78 | 1     | 80         | 79 | 78 | 2     | 78,167       |
| 7                        | 53         | 57 | 54 | 4     | 56         | 53 | 54 | 3     | 54,500       |
| 8                        | 58         | 57 | 59 | 2     | 56         | 57 | 56 | 1     | 57,167       |
| médias                   | 57,167     |    |    | 1,625 | 56,833     |    |    | 1,5   |              |
| <b>Repetitividade</b>    |            |    |    |       |            |    |    |       |              |
| Rbar=                    | 1,563      |    |    | VE%=  | 23,543     |    |    | p/20s |              |
| DesvioP.Dispositivo=     | 0,914      |    |    |       |            |    |    |       |              |
| VE=                      | 4,709      |    |    |       |            |    |    |       |              |
| <b>Reprodutibilidade</b> |            |    |    |       |            |    |    |       |              |
| Ro=                      | 0,333      |    |    | VO%=  | 3,737      |    |    | p/20s |              |
| VO=                      | 0,747      |    |    |       |            |    |    |       |              |
| DesvioP.Operador=        | 0,145      |    |    |       |            |    |    |       |              |
| <b>R&amp;R</b>           |            |    |    |       |            |    |    |       |              |
| DesvioM=                 | 0,926      |    |    | R&R%= | 23,837     |    |    | p/20s |              |
| R&R=                     | 4,767      |    |    |       |            |    |    |       |              |

Figura 4.7 Avaliação do novo sistema de medição

Como pode ser visto, obteve-se um R&R de 23,8%, validando o novo método de medição de viscosidade proposto.

No entanto, devido a dificuldades relativas a disponibilidade dos equipamentos, estas melhorias não foram adotadas imediatamente pelo setor de produção, se restringindo, em um primeiro momento, apenas às medições feitas nas coletas de dados para o projeto.

#### 4.3.3 Métricas de Oportunidades de Melhoria

Conforme foi citado anteriormente, atualmente já existe um acompanhamento dos desvios de viscosidade em termos de Oportunidades de Melhoria ( ou OM's).

Os produtos cujos lotes necessitarem adições de materiais extras à fórmula acima dos limites máximos estabelecidos, são registrados em um banco de dados. Estas informações são posteriormente cruzadas com os dados do sistema de gerenciamento da produção e do cadastro de produtos, gerando uma série de métricas associadas.

A análise dos dados referentes ao primeiro semestre de 2001 indicou uma média de 967 lotes produzidos por mês, sendo 608 lotes controlados por mês. (Nem todo o lote produzido é sujeito à checagem de algumas propriedades. Somente sobre os produtos mais elaborados, como acabamentos, *primers* e bases, são realizados controles antes da liberação. Os principais parâmetros controlados são viscosidade, cor, brilho e aspecto.)

Em média, 13% dos lotes controlados representaram OM's. Cerca de metade das Oportunidades de Melhoria foi de viscosidade (51%), correspondendo a 246 lotes em 6 meses. Isto é, tem-se aproximadamente 7% dos lotes controlados com registro de ocorrência de OM's de viscosidade.

Outras informações obtidas a partir dos dados de OM de viscosidade foram:

- tipo de desvio – 83% dos lotes com viscosidade acima da faixa e 17% abaixo;
- 58% dos acertos para viscosidade abaixo da faixa com uso de 0,5 a 1,0% de espessante;
- 64% dos acertos para viscosidade acima da faixa utilizaram de 5 a 10% de solvente.

Além das métricas acima, realizadas rotineiramente, os dados coletados foram aproveitados para a realização de outras análises da ocorrência dos desvios.

A Tabela 4.1 separa as OM's em termos de acerto de cor, isto é, relaciona os desvios com o fato de o lote ter sido ou não corrigido quanto à cor. Não houve uma diferença expressiva entre os percentuais de OM's em lotes com e sem acerto de cor, e menor ainda entre o percentual de OM's com e sem acerto sobre o total de lotes produzidos. Assim, aparentemente, não há relação entre os desvios e o acerto de cor.

*Tabela 4.1 Oportunidades de melhoria de viscosidade por acerto de cor*

| LOTES               | SEM ACERTO | COM ACERTO | TOTAL |
|---------------------|------------|------------|-------|
| OM's                | 94         | 152        | 246   |
| %OM's               | 38,2       | 61,8       | 100   |
| Produzidos          | 1669       | 1941       | 3610  |
| % Produzidos        | 46,2       | 53,8       | 100   |
| %OM's / Produzidos* | 5,6        | 7,8        | 6,8   |

\*% de OM's por lotes produzidos (número de lotes de OM de viscosidade / total de lotes produzidos, por acerto de cor)

A Tabela 4.2 apresenta a distribuição das OM's de viscosidade em função do tipo de

processo de produção. Observa-se que a maioria dos lotes com problema foi produzida em processo moinho. Porém, para uma análise mais criteriosa, os dados por processo foram relacionados com o número total de lotes controlados produzidos no período (primeiro semestre de 2001), em cada tipo de processo, da mesma forma como foram analisados os dados da Tabela 4.1 .

*Tabela 4.2 Oportunidades de melhoria de viscosidade por tipo de processo*

| LOTES               | MISTURA | COWLES | MOINHO | TOTAL |
|---------------------|---------|--------|--------|-------|
| OM's                | 27      | 8      | 211    | 246   |
| %OM'S               | 11,0    | 3,2    | 85,8   | 100   |
| Produzidos          | 1446    | 168    | 1996   | 3610  |
| % Produzidos        | 40,1    | 4,6    | 55,3   | 100   |
| % OM's/Produzidos** | 1,9     | 4,8    | 10,6   | 6,8   |

\*\*% de OM's por lotes produzidos (número de lotes de OM de viscosidade / total de lotes produzidos, por processo)

Observa-se que o processo crítico é realmente o processo em moinho. Independentemente do total de lotes por processo, o processo em moinho foi o de maior incidência de OM's. O processo em *cowles*, que viria em segundo lugar, ocorre raramente, e por isto não seria prioritário para estudo.

#### 4.3.4 Planejamento da Coleta de Dados

Afora as estatísticas de Oportunidades de Melhoria, não existiam outros dados históricos, relativos a desvios de viscosidade, passíveis de algum tipo de análise. As anotações nas Ordens de Produção (OP's) pelos operadores, além de não serem suficientemente claras, ainda estão prejudicadas, no caso da anotação de viscosidade, pelos erros do sistema de medição atual.

Assim, optou-se pela execução de um levantamento planejado nos moldes de um Controle Estatístico de Processo (CEP), de modo a obter-se uma avaliação da condição do processo atual. A seguir são listados os parâmetros selecionados para coleta:

**Y1\*** = viscosidade logo após a completagem;

**Y2** = viscosidade após acertos de cor e brilho; **Y2 = Y1 + Acertos**

**Y3** = viscosidade com todo o solvente previsto na OP ; **Y3 = Y1 + Solvente**

**Y4** = viscosidade após acertos de cor e brilho e solvente previsto na OP; **Y4 = Y2 + Solvente**

Como não existe uma faixa única de liberação de viscosidade para cada tinta e, conforme já foi comentado anteriormente, o perfil de produção, em termos de número de produtos diferentes, é bastante variado, os valores dos parâmetros Y1 a Y4, para diferentes produtos, serão analisados conjuntamente, após uma conversão a variáveis reduzidas.

A conversão à variável reduzida **Z**, é realizada utilizando-se a Equação 4.

$$Z = \frac{Y - alvo}{\left( \frac{\text{limite superior da espec.} - \text{limite inferior da espec.}}{2} \right)} \quad \text{Equação 4}$$

Desta maneira, a variável reduzida **Z** tem, para qualquer produto, os mesmos valores de alvo e limites, ou seja:

$$\text{Alvo} = 0 \quad \text{Limite Inferior da Espec.} = -1 \quad \text{Limite Superior da Espec.} = 1$$

Os valores obtidos convertidos, Z1 a Z4, serão então analisados para verificação da estabilidade e da capacidade do processo. O período de coleta foi estimado em 3 meses, a fim de abranger um número significativo de lotes de produção (mais de 200 lotes).

Além dos indicadores acima, também foram coletadas / calculadas algumas outras:

**Y5\*** = tempo para o acerto de viscosidade (tempo médio gasto pelos viscosistas da Produção, para acerto dos lotes acompanhados)

**Y6** = diferença entre a quantidade de matéria-prima (solvente) realmente utilizada no acerto da viscosidade e a prevista na fórmula (para utilização na análise financeira, juntamente com o **Y5**.)

Os Y's marcados com asterisco correspondem às CTQ's (Y5), ou serão utilizados no cálculo das CTQ's (Y1).

Nos Anexos 2 e 3 são apresentadas respectivamente as planilhas com os dados obtidos: Dados Coletados (Y's) e Viscosidades Reduzidas (Z's), para cada lote avaliado. Adicionalmente foram coletados dados referentes ao tamanho do lote, em massa, e ao tipo de equipamento utilizado na sua preparação: se mistura (sem a etapa de moagem, representado por 0) ou moinho, distinguindo-se o tamanho de moinho, 1,5P, 3P, 16P e 30P – de menor a maior capacidade. A análise destes resultados, incluindo a avaliação da estabilidade e capacidade dos processos, é conduzida a seguir.

#### 4.3.5 Estabilidade do Processo

Conforme foi descrito no capítulo anterior, as viscosidades das tintas acompanhadas foram determinadas em várias condições diferentes. Estas condições representam fases da etapa de acertos finais dos lotes. Assim, analisando-se as diversas medições, tem-se uma idéia do seu impacto na variação da viscosidade.

Após conversão, obteve-se as seguintes variáveis de resposta, que foram avaliadas utilizando-se cartas de controle para valores individuais:

**Z1** = viscosidade logo após a completagem;

**Z2** = viscosidade após acertos de cor e brilho; **Z2 = Z1 + Acertos**

**Z3** = viscosidade com todo o solvente previsto na OP; **Z3 = Z1 + Solvente**

**Z4** = viscosidade após acertos de cor e brilho e solvente previsto na OP; **Z4 = Z2 + Solvente**

Os dados referentes a estas medições (Anexo 3) foram plotados e analisados considerando-se duas situações: geral, isto é, sem separação por tipo de processo ou tipo de moinho, e, separando-se os dados por processo Mistura (sem utilização de moinho) e por tamanho de moinho (1,5P a 30P).

As Figura 4.8 a Figura 4.11 apresentam as cartas gerais, considerando as causas especiais, para Z1 a Z4.

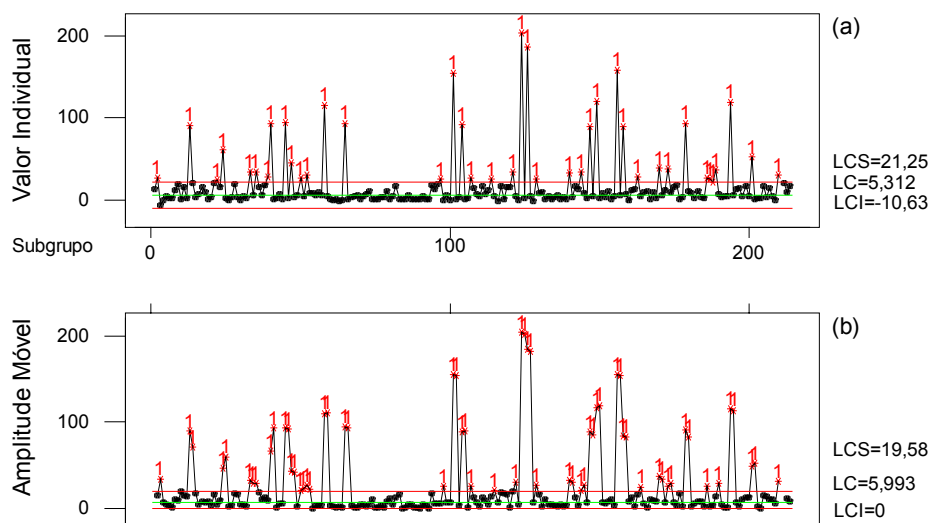


Figura 4.8 Cartas de Controle para Z1 Geral: (a) Valor Individual e (b) Amplitude Móvel

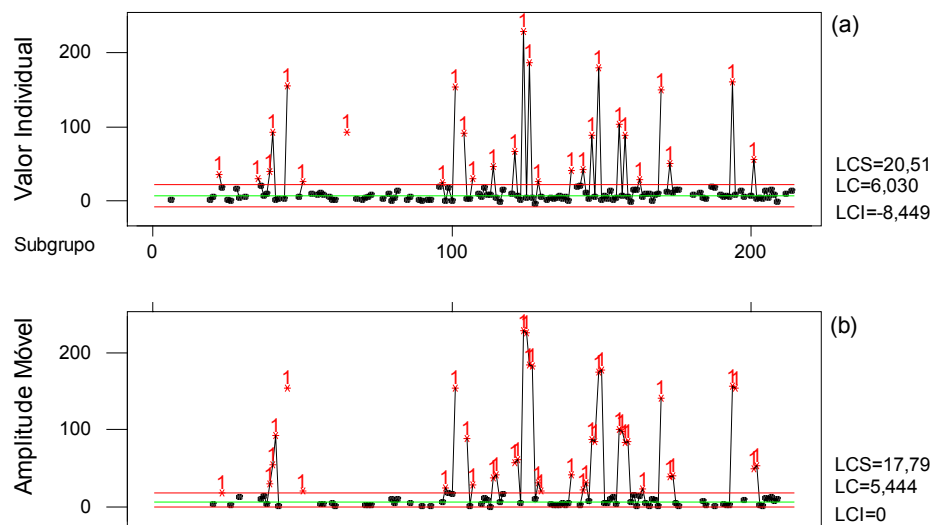


Figura 4.9 Carta de Controle para Z2 Geral: (a) Valor Individual e (b) Amplitude Móvel

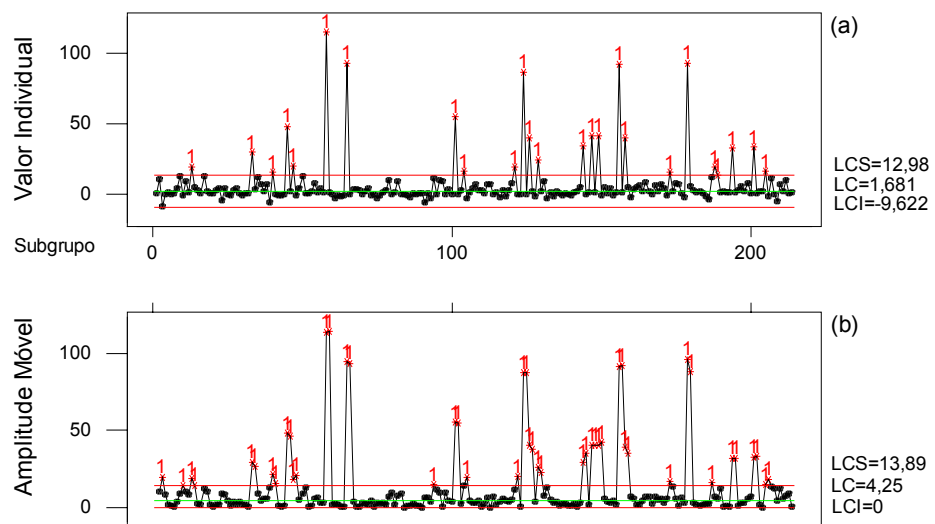


Figura 4.10 Carta de Controle para Z3 Geral: (a) Valor Individual e (b) Amplitude Móvel

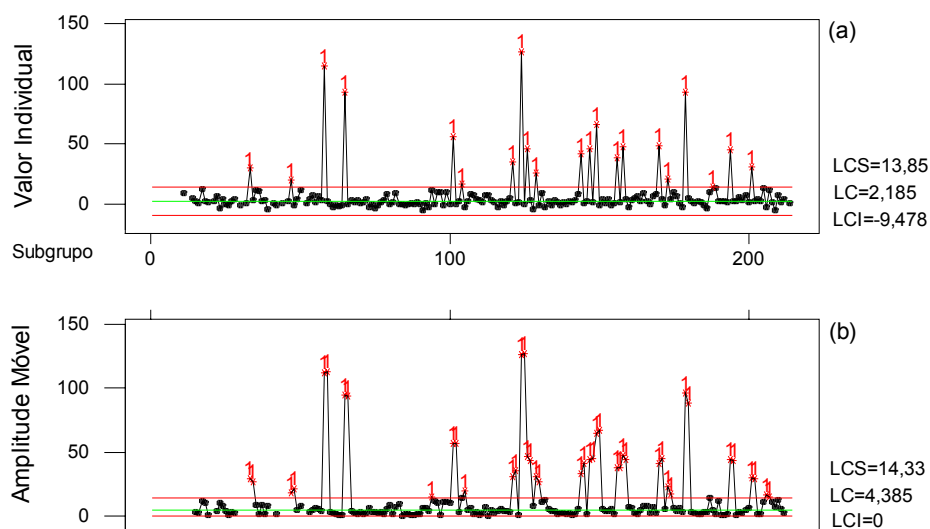


Figura 4.11 Carta de Controle para Z4 Geral: (a) Valor Individual e (b) Amplitude Móvel

Faltaram alguns pontos em algumas das cartas, devido a dificuldades iniciais e/ou problemas na coleta. Como se tratam de cartas para valores individuais, o único teste realizado para verificação de causas especiais foi o teste para pontos distantes mais de 3 sigmas do ponto médio. As causas especiais correspondentes a cada uma destas cartas de valores individuais são apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Pontos das cartas para valores individuais que representam causas especiais

| Causas Especiais (pontos) |  |
|---------------------------|--|
| <b>Z1 Geral</b>           | 2 13 22 24 33 35 39 40 45 47 50 52 58 65 97 101 104 107 114 121 124 126 129<br>140 144 147 149 156 158 163 170 173 179 186 187 188 189 194 201 210 |
| <b>Z2 Geral</b>           | 22 35 39 40 45 50 65 97 101 104 107 114 121 124 126 129<br>140 144 147 149 156 158 163 170 173 194 201   |
| <b>Z3 Geral</b>           | 13 33 40 45 47 58 65 101 104 121 124 126 129<br>144 147 149 156 158 173 179 188 189 194 201 205  |
| <b>Z4 Geral</b>           | 33 47 58 65 101 104 121 124 126 129<br>144 147 149 156 158 170 173 179 188 194 201   |

Analisando-se inicialmente os processos da maneira *Geral*, observa-se que:

- Os vários *Z*'s representam processos instáveis. Todos apresentaram causas

especiais, sendo muitas delas coincidentes. Esta coincidência pode ser explicada pelo fato de que um grande desvio na viscosidade inicial (Z1) deve se propagar para os demais Z's. Os lotes de maior variação deveriam ser melhor analisados pois podem significar problemas de fórmula e/ou produtos com dificuldades de produção.

- Os melhores resultados, isto é, médias mais próximas de zero e menores amplitudes de variação, são observados com Z3 e Z4. Por outro lado, as piores condições parecem ser Z1 e Z2. Ou seja, há uma distância, ou diferença, grande entre o que seria a viscosidade final do processo produtivo (após a completagem) – Z1 (5,3) ou Z2 (6,0), e a viscosidade com a adição do solvente previsto na fórmula – Z3 (1,7) ou Z4 (2,2). A adição do solvente previsto, em média, aproxima a viscosidade da faixa de especificação.
- Todas as médias ficaram fora dos limites da especificação, deslocadas para a direita. Isto é, a maioria dos produtos está formulada de modo a resultar em viscosidade igual ou superior à especificação.
- Comparando-se Z1 com Z2 e Z3 com Z4, verifica-se que os ajustes intermediários (acertos de cor e brilho) provocam uma alteração nos resultados, mas não de maneira tão significativa quanto a adição do solvente previsto na fórmula (Z1 para Z3 e Z2 para Z4).

Na Tabela 4.4 são apresentados, de maneira resumida, os resultados das cartas com separação dos dados por processo / tamanho de moinho. As cartas podem ser visualizadas no Anexo 4.

Tabela 4.4 Resumo dos resultados

| Processo | Resultados       | Z1     | Z2     | Z3     | Z4     |
|----------|------------------|--------|--------|--------|--------|
| Geral    | LCS              | 21,25  | 20,51  | 12,98  | 13,85  |
|          | Média            | 5,312  | 6,030  | 1,681  | 2,185  |
|          | LCI              | -10,63 | -8,449 | -9,622 | -9,478 |
|          | Total lotes      | 213    | 145    | 214    | 194    |
|          | Causas Especiais | 40     | 27     | 25     | 21     |
| Mistura  | LCS              | 6,265  | 9,158  | 3,737  | 4,791  |
|          | Média            | 1,282  | 2,917  | 0,265  | 0,700  |
|          | LCI              | -3,70  | -3,323 | -3,207 | -3,391 |
|          | Total lotes      | 66     | 66     | 66     | 60     |
|          | Causas Especiais | 9      | 1      | 6      | 6      |
| 1,5P     | LCS              | 95,01  | 65,06  | 96,6   | 57,74  |
|          | Média            | 23,30  | 16,22  | 20,01  | 13,59  |
|          | LCI              | -48,40 | -32,63 | -56,57 | -30,56 |
|          | Total lotes      | 31     | 31     | 31     | 29     |
|          | Causas Especiais | 4      | 6      | 0      | 2      |
| 3,0P     | LCS              | 40,56  | 26,91  | 18,18  | 14,24  |
|          | Média            | 9,917  | 8,972  | 2,833  | 2,673  |
|          | LCI              | -20,73 | -8,970 | -12,52 | -8,896 |
|          | Total lotes      | 57     | 57     | 57     | 53     |
|          | Causas Especiais | 4      | 8      | 3      | 5      |
| 16P      | LCS              | 47,06  | 35,15  | 20,69  | 17,00  |
|          | Média            | 12,57  | 9,205  | 3,75   | 2,793  |
|          | LCI              | -21,92 | -16,74 | -13,19 | -11,41 |
|          | Total lotes      | 37     | 23     | 37     | 33     |
|          | Causas Especiais | 3      | 3      | 1      | 3      |
| 30P      | LCS              | 37,71  | 35,74  | 20,99  | 21,72  |
|          | Média            | 8,723  | 6,70   | 2,743  | 2,484  |
|          | LCI              | -20,27 | -22,34 | -15,50 | -16,75 |
|          | Total lotes      | 22     | 11     | 23     | 19     |
|          | Causas Especiais | 0      | 0      | 0      | 0      |

Considerando-se a análise por processo / tipo de moinho, pode-se dizer que:

- Em geral, observam-se os mesmos comportamentos para Z1 a Z4 verificados na análise conjunta.
- Não foram registradas causas especiais nas análises do 30P, provavelmente devido ao baixo número de amostras coletadas. Também a avaliação do moinho 1,5P pode ter sido um pouco prejudicada pelo baixo número de lotes coletados.
- Comparando-se o processo em mistura com o processo em moinho 3P, ambos com números de lotes similares e de boa representatividade, constata-se que o processo em mistura é um pouco melhor. Este desempenho superior poderia ser devido ao

fato de se tratar de um processo mais simples, mas, provavelmente, está mais relacionado com a amplitude da faixa de viscosidade especificada, que é normalmente maior para tintas de mistura (de até 50 segundos em copo Ford 4).

- Entre os vários tamanhos de moinho, o processo em moinho 3P parece ser o menos crítico. O 1,5P, moinho de menor volume, aparentemente o pior processo, deve ter o seu desempenho prejudicado principalmente por operar com perdas de material (sólidos) proporcionalmente maiores.
- A melhor configuração obtida foi processo por mistura, com adição de todo o solvente previsto, e sem interferência de outros acertos (Z3), mas ainda assim distante do comportamento desejado (média deslocada para cima e variação natural maior que a faixa desejada).

Os dados de viscosidade foram utilizados também para a verificação do delta de variação entre as várias medições realizadas. Porém, agora foram utilizados os valores não reduzidos, a fim de permitir uma melhor compreensão da dimensão da diferença de viscosidade entre as fases da etapa de acertos. Isto é, foram calculadas as diferenças de viscosidade, em segundos, entre Y2 e Y1, Y3 e Y1, e Y4 e Y2, para todos os processos juntos. Os valores assim obtidos foram plotados em cartas para valores individuais, conforme Figura 4.12 a Figura 4.14.

Observa-se da carta para Y2-Y1 (Figura 4.12) que, em média, há um aumento de 5,8 segundos proporcionado pela etapa de acertos de cor e brilho, isto é, pelas adições de concentrado, resina e/ou fosqueador aos lotes.

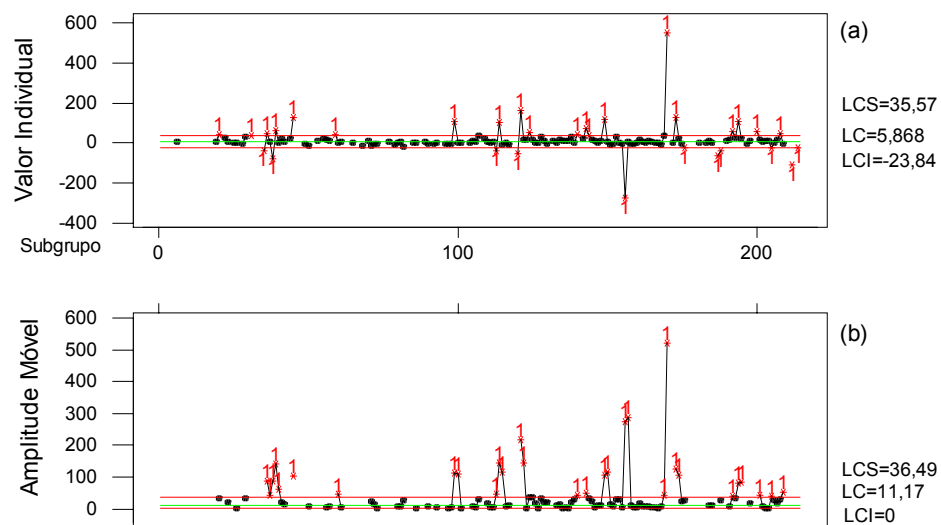


Figura 4.12 Carta de controle para Y2-Y1: (a) Valor Individual e (b) Amplitude Móvel

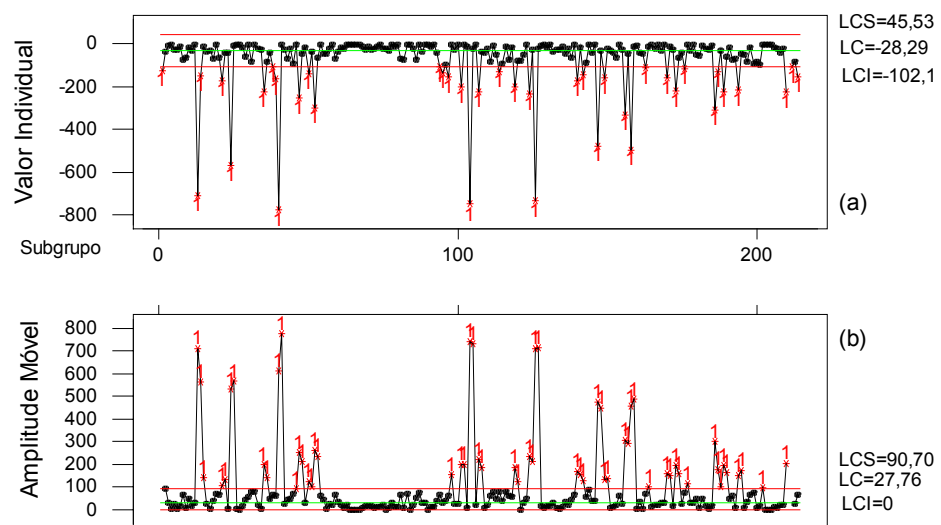


Figura 4.13 Carta de controle para Y3-Y1: (a) Valor Individual e (b) Amplitude Móvel

Com relação ao impacto da adição do solvente previsto, a carta de Y3-Y1 (Figura

4.13) indica uma redução da viscosidade, em média, de 28 segundos, para lotes sem a adição de outros acertos (cor e brilho). Considerando-se a adição destes outros acertos – carta de Y4-Y2 (Figura 4.14), verifica-se um comportamento similar, com uma redução média em torno de 32 segundos na viscosidade dos lotes, devida à adição de solvente.

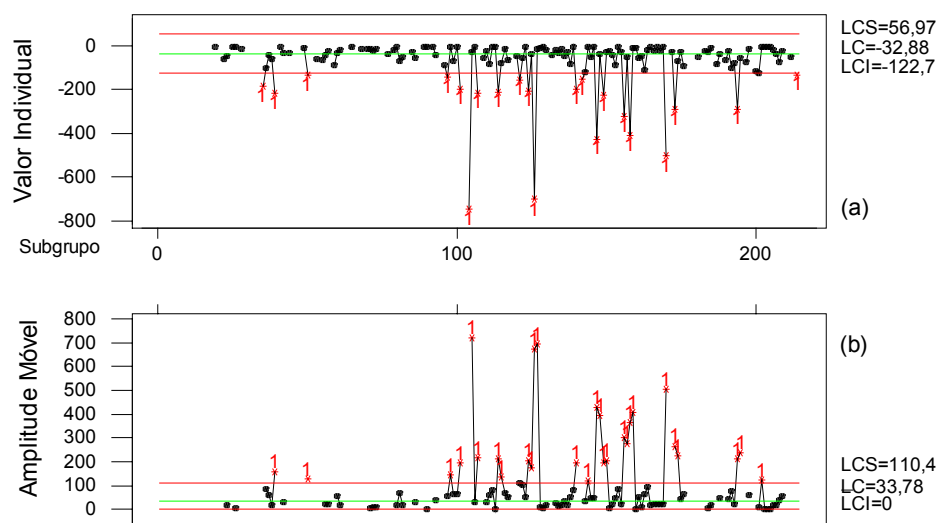


Figura 4.14 Carta de controle para Y4-Y2: (a) Valor Individual e (b) Amplitude Móvel

#### 4.3.6 Características Críticas da Qualidade

A resposta Y1, ou melhor, o valor médio de Z1, é um dos indicadores escolhidos como Características Críticas da Qualidade. Isto é, os valores obtidos no estudo de estabilidade devem servir de base para comparação com resultados futuros, após a implantação de ações de melhoria.

Outras CTQ's como tempo médio para o acerto de viscosidade (Y5) e percentual dos lotes que necessitaram algum acerto de viscosidade, também foram calculadas a partir dos dados coletados para o estudo de estabilidade (Anexos 2 e 3). O percentual dos lotes que representaram Oportunidades de Melhoria foi obtido a partir das métricas já existentes (dados

históricos).

Na tabela abaixo são apresentados os valores obtidos para estas características, considerando-se o desempenho atual do processo:

*Tabela 4.5 Características Críticas da Qualidade para desempenho atual*

| Z1 (MÉDIO) | Y5 (MÉDIO) | % LOTES DEFEITUOSOS | % LOTES DE OM |
|------------|------------|---------------------|---------------|
| 5,3        | 20 min     | 78,5                | 6,8           |

O tempo médio atual de acerto de viscosidade foi exatamente o dobro do estimado após a implantação de melhorias. Assim, teoricamente, com a redução dos desvios de viscosidade, seria possível reduzir o número de viscosistas pela metade.

Com relação ao outro benefício financeiro, a redução de gastos com adições de acerto de solvente ou espessante, os valores observados nos lotes analisados (Anexo 2) foram bem inferiores aos estimados inicialmente. Obteve-se dados de consumo real de solvente para 184 lotes, que correspondiam a 180.000Kg de tintas. Para a correção destes lotes foram gastos a mais 2536Kg de material, ou seja, apenas 1,4% de diferença de matéria-prima. A estimativa inicial era de 5% a mais, em média.

Este percentual menor pode ser explicado pelo fato de boa parte dos lotes não terem utilizado todo o solvente previsto, compensando assim os lotes com correção a maior. Cabe ressaltar que lotes com sobra de solvente representam uma economia apenas aparente. Na maioria dos produtos, o solvente é o componente mais barato da formulação, assim, caso ele não seja totalmente adicionado, o lote poderá ter um custo de matéria-prima superior ao valor utilizado para o cálculo do preço de venda.

#### 4.3.7 Capacidade do Processo

Para a análise de capacidade do processo, foram removidos os lotes correspondentes às causas especiais identificadas no estudo de estabilidade. Esta análise foi feita conforme as mesmas considerações feitas no estudo anterior, isto é, relativa às várias determinações de viscosidade (Z1 a Z4) e aos diferentes processos / tipos de moinho.

Nas Figura 4.15 e Figura 4.16 podem ser visualizados os histogramas de maior interesse, enquanto que os demais são apresentados no Anexo 5.

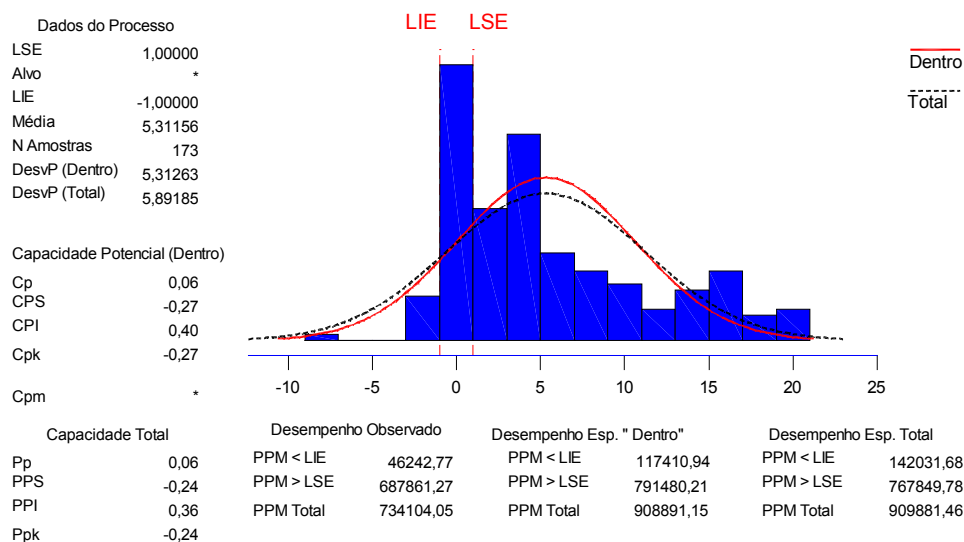


Figura 4.15 Histograma relativo a análise de Capacidade para Z1, geral

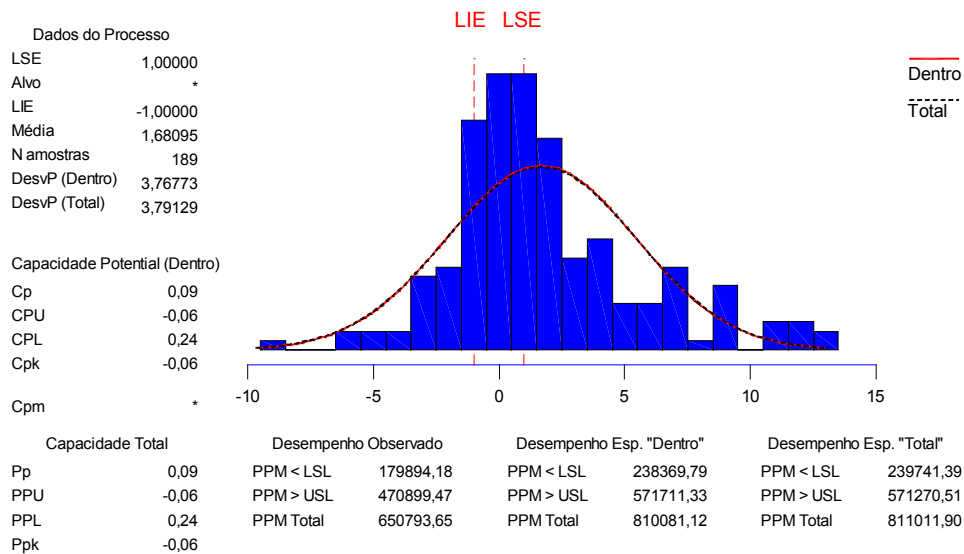


Figura 4.16 Histograma relativo a análise de Capacidade para Z3, geral

Os histogramas de análise de capacidade normal foram obtidos com auxílio do *software* estatístico Minitab. As médias e desvios-padrão foram estimados usando-se constantes não tendenciosas e método da amplitude móvel de passo 2 (considerou-se que valores consecutivos têm maior chance de serem parecidos). As estatísticas Cp, Cpk, PPM total e % de defeituosos foram calculadas para uma variabilidade natural de 6 sigmas (3 sigmas para cada lado).

A Tabela 4.6 registra os índices de capacidade Cp e Cpk, bem como o percentual correspondente de defeituosos para todos os Z's e processos.

*Tabela 4.6 Resumo dos resultados de Cp, CpK e % de Defeituosos*

| <b>Processo</b> | <b>Resposta</b> | <b>Cp</b> | <b>Cpk</b> | <b>PPM Total</b> | <b>% Defeituosos</b> |
|-----------------|-----------------|-----------|------------|------------------|----------------------|
| Geral           | Z1              | 0,06      | -0,27      | 908891,1         | 90,9                 |
|                 | Z2              | 0,07      | -0,35      | 923948,1         | 92,4                 |
|                 | Z3              | 0,09      | -0,06      | 810081,1         | 81,0                 |
|                 | Z4              | 0,09      | -0,10      | 826061,6         | 82,6                 |
| Mistura         | Z1              | 0,20      | -0,06      | 652202,7         | 65,2                 |
|                 | Z3              | 0,29      | 0,21       | 399906,8         | 40,0                 |
| 1,5P            | Z1              | 0,01      | -0,31      | 979246,6         | 97,9                 |
|                 | Z3              | 0,01      | -0,25      | 977016,4         | 97,7                 |
| 3P              | Z1              | 0,03      | -0,29      | 951247,3         | 95,1                 |
|                 | Z3              | 0,07      | -0,12      | 866821,9         | 86,7                 |
| 16P             | Z1              | 0,03      | -0,34      | 961818,3         | 96,2                 |
|                 | Z3              | 0,06      | -0,16      | 886974,4         | 88,7                 |
| 30P             | Z1              | 0,03      | -0,27      | 945078,8         | 94,5                 |
|                 | Z3              | 0,05      | -0,10      | 881907,1         | 88,2                 |

Foi dada maior ênfase à determinação dos valores de Cp e CpK para Z1 e Z3. Os valores para Z2 e Z4 ficam muito próximos, respectivamente, aos valores de Z1 e Z3, como pode ser observado na análise geral. Além disto, como todos os valores foram baixos, isto é, bem abaixo de 1, não faz sentido análises mais profundas para verificação destas pequenas diferenças.

Todos os processos, em qualquer uma das fases, se mostraram não capazes em atender às especificações. Mesmo considerando-se a centralização dos processos (Cp), ainda assim os desempenhos estão muito distantes da meta desejada (todos menores que 1). A análise de alguns moinhos ficou prejudicada pelo pequeno número de dados coletados nestes equipamentos.

A comparação dos histogramas de Z1 e Z3 demonstra que a adição do solvente previsto na fórmula melhora sensivelmente a capacidade dos processos. Os histogramas referentes a Z3 se aproximaram razoavelmente bem de uma distribuição normal. O processo com melhores índices foi o por mistura, com Cp de 0,29 e CpK de 0,21, para Z3.

## 4.4 Análise

### 4.4.1 Análise de Variância dos Processos

Os dados obtidos nos estudos de estabilidade e capacidade indicaram uma diferença de desempenho entre os vários processos ou tipos de moinho. O processo em mistura parece ser o melhor e o em moinho 1,5P o pior, em termos de variação da viscosidade.

A fim de confirmar ou não estas observações, foi conduzido um teste de hipóteses, utilizando-se a ANOVA, para os diferentes processos/moinhos. A variável de resposta escolhida para análise foi a viscosidade após a adição do solvente previsto (Z3) e os níveis do fator controlável (processo, codificado como MNH) foram: 0 (mistura), 1,5P, 3P, 16P e 30P. Os dados são os mesmos apresentados no Anexo 3.

O Quadro 4.1 traz a tabela da ANOVA *one-way* e os intervalos de confiança para as médias dos vários níveis.

Quadro 4.1 Análise de Variância para Z3 x Processo (MNH)

| Análise de Variância para Z3 |     |         |       |      |       |
|------------------------------|-----|---------|-------|------|-------|
| Fonte                        | GL  | SQ      | MQ    | F    | P     |
| MNH                          | 4   | 144,07  | 36,02 | 4,49 | 0,002 |
| Residual                     | 209 | 1675,68 | 8,02  |      |       |
| Total                        | 213 | 1819,75 |       |      |       |

| Intervalos de Confiança individuais 95% para média baseado no desvio padrão <i>pooled</i> |    |       |       |                               |                       |
|---|----|-------|-------|-------------------------------|-----------------------|
| Nível   | N  | Média | DesvP |                               |                       |
| 0,0   | 66 | 0,292 | 3,085 | -----+-----+-----+-----+----- |                       |
| 1,5   | 31 | 2,835 | 4,941 | (-----*-----)                 | (-----*-----)         |
| 3,0   | 57 | 0,657 | 1,389 | (-----*-----)                 |                       |
| 16,0  | 37 | 0,956 | 2,163 | (-----*-----)                 |                       |
| 30,0  | 23 | 0,799 | 1,484 | (-----*-----)                 |                       |
| DesvP. <i>Pooled</i> = 2,832  |    |       |       | -----+-----+-----+-----+----- |                       |
|   |    |       |       | 0,0                           | 1,2      2,4      3,6 |

O valor de *p* foi extremamente baixo, portanto rejeita-se a hipótese nula de que os processos/moinhos têm comportamento igual. Isto é, há diferenças significativas entre os

moinhos, principalmente entre o moinho 1,5P e os demais. Os resíduos da ANOVA seguiram uma distribuição aproximadamente normal, conforme verificado no gráfico de probabilidade normal dos resíduos, apresentado no Anexo 6. O gráfico *Boxplot*, Figura 4.17, permite uma visualização da variabilidade nos vários processos ou moinhos avaliados, para a condição Z3.

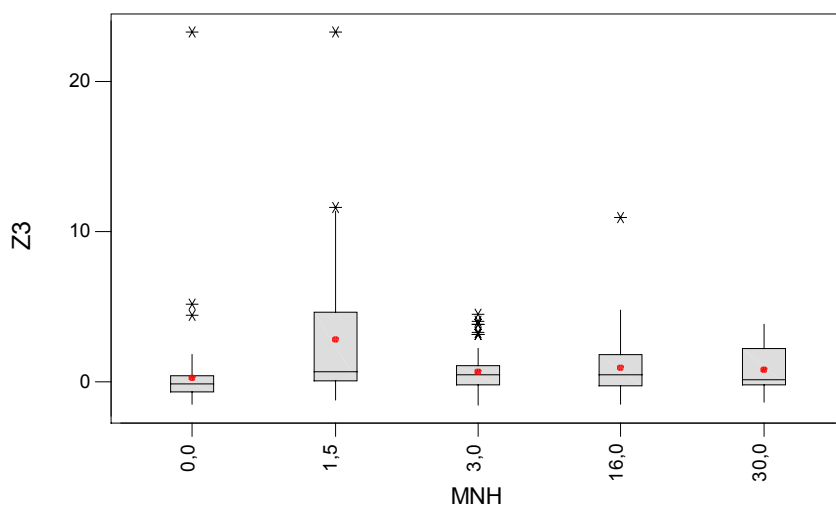


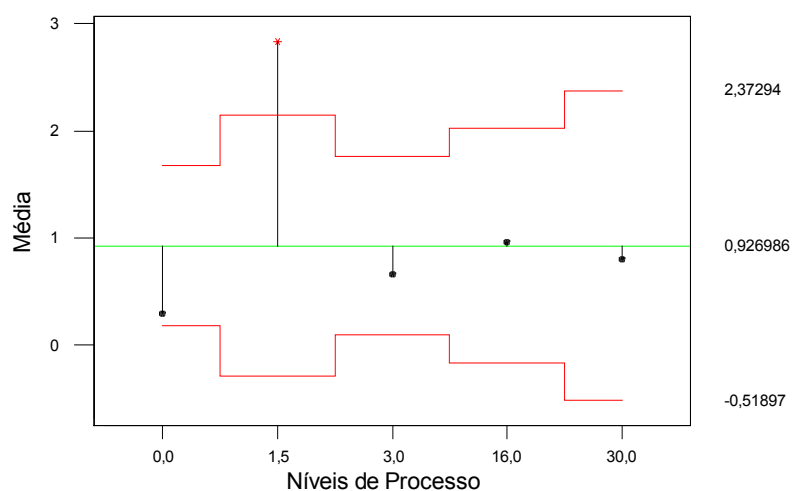
Figura 4.17 Gráfico Boxplot para Z3 por tipo de processo (MNH)

Uma outra maneira de comparar os processos é através da análise das médias (ANOM). A ANOM, de forma análoga a ANOVA, testa a igualdade de médias de populações. O gráfico da ANOM lembra uma carta de controle, mas que permite detectar diferenças entre as médias. A principal diferença entre a ANOVA e a ANOM é que a ANOVA testa se as médias são distintas entre si enquanto a ANOM testa se as médias diferem da média geral (*grand mean*).

O Quadro 4.2 apresenta a tabela resumo da ANOM, e a Figura 4.18, o gráfico ANOM para Z3.

*Quadro 4.2 Análise de Médias para Z3 x Processo (MNH)*

| Análise de Médias - tabela resumo |     |        |        |
|-----------------------------------|-----|--------|--------|
| Z3                                | Z3  | Z3     |        |
|                                   | N   | Média  | DesvP  |
| 0,0                               | 66  | 0,2924 | 3,0846 |
| 1,5                               | 31  | 2,8355 | 4,9406 |
| 3,0                               | 57  | 0,6566 | 1,3885 |
| 16,0                              | 37  | 0,9561 | 2,1635 |
| 30,0                              | 23  | 0,7989 | 1,4844 |
| Todos                             | 214 | 0,9270 | 2,9229 |



*Figura 4.18 Gráfico ANOM para Z3 por tipo de moinho/processo*

A linha central do gráfico representa a viscosidade ( $Z3$ ) média geral, e os pontos plotados, as médias para cada processo. As linhas vermelhas correspondem aos limites de decisão, superior e inferior, usados no teste de hipótese. Os limites de decisão são calculados separadamente para cada nível e dependem do número de observações de cada um deles. Quanto maior o número de observações, mais próximos da linha central (Manual, 2000).

Como a média do processo em moinho 1,5P ficou além do limite de decisão, rejeita-se a hipótese de que esta média seja igual à média geral. Assim, com mais esta análise fica evidenciada a diferença do moinho 1,5P em relação aos demais processos.

#### 4.4.2 Diagrama de Causa e Efeito

Seguindo-se as recomendações levantadas no capítulo 2.4.2 e tomando-se por base o mapa de processo de fabricação em moinho, foi elaborado o diagrama de Causa e Efeito, ou Espinha de Peixe – Figura 4.19. A elaboração deste diagrama teve a participação de uma equipe composta por técnicos dos setores de Produção e Desenvolvimento.

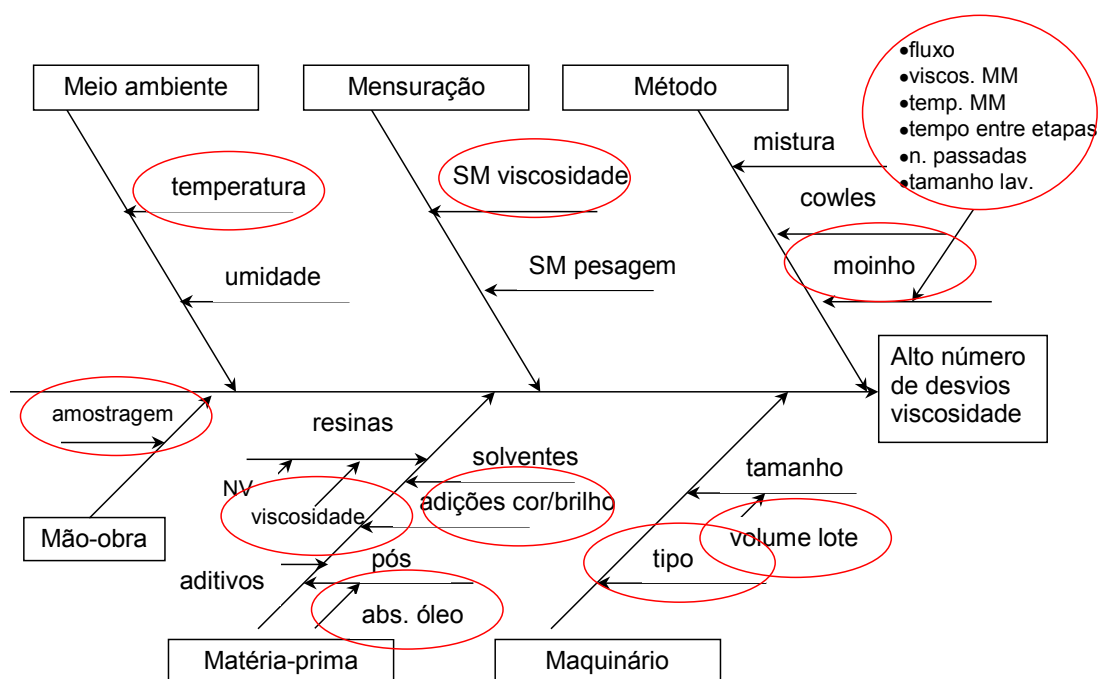


Figura 4.19 Diagrama de Espinha de Peixe

Os itens marcados com uma elipse correspondem aos fatores de entrada considerados pela equipe como as causas, ou sub-causas, mais prováveis para a existência do alto número de desvios de viscosidade. Abaixo, os principais itens são apresentados em forma de lista:

- temperatura ambiente;
- sistema de medição de viscosidade;
- sistema de amostragem;

- variabilidade da viscosidade das resinas;
- variabilidade da absorção de óleo dos pós;
- adições para correção de cor / brilho;
- tipo de equipamento;
- volume do lote em relação ao tamanho do equipamento;
- variações no processo em moinho: fluxo, viscosidade da massa de moagem, temperatura da massa de moagem, tempo entre etapas, número de passadas e tamanho da lavagem.

Estes fatores serviram de base para a elaboração da Matriz de Causa e Efeito, apresentada a seguir.

#### 4.4.3 Matriz de Causa e Efeito

A Matriz de Causa e Efeito foi construída colocando-se, nas linhas, os fatores levantados no diagrama citado acima, e, nas colunas, as principais variáveis de resposta resultantes de variações nestes fatores. As variáveis de resposta de interesse consideradas foram, além da viscosidade, a cor e o brilho, que seriam as outras características fundamentais das tintas.

Novamente a equipe de engenheiros e químicos das áreas de Produção e Desenvolvimento participou da discussão, atribuindo pontos ao relacionamento entre os fatores de entrada e as variáveis de resposta. Considerando-se a importância relativa de cada resposta, e multiplicando-se estes valores pelo valor atribuído ao relacionamento com cada fator, obteve-se a priorização dos fatores de entrada.

Durante a elaboração/discussão da matriz, foi adicionado além dos fatores pré-selecionados no diagrama de causa e efeito, o fator operador. A seguir é apresentada a matriz (no padrão adotado pela empresa para projetos Seis Sigma), com os itens de maior pontuação em tom escuro.

| Matriz de Causa e Efeito |         |                         |             |     |        |       |
|--------------------------|---------|-------------------------|-------------|-----|--------|-------|
| Importância              |         |                         | 10          | 9   | 9      |       |
|                          |         |                         | 1           | 2   | 3      |       |
|                          |         |                         | Viscosidade | Cor | Brilho | Total |
|                          | Ranking | Entradas do Processo    |             |     |        |       |
| 1                        | 4       | temperatura ambiente    | 9           | 1   | 1      | 108   |
| 2                        |         | viscosidade resina      | 3           | 1   | 1      | 48    |
| 3                        |         | absorção óleo pós       | 3           | 3   | 3      | 84    |
| 4                        |         | equipamento             | 3           | 3   | 3      | 84    |
| 5                        | 2       | volume do lote          | 9           | 3   | 3      | 144   |
| 6                        | 3       | viscosidade MM          | 9           | 3   | 3      | 144   |
| 7                        | 5       | temperatura MM          | 9           | 1   | 1      | 108   |
| 8                        | 1       | fluxo de moagem         | 9           | 9   | 9      | 252   |
| 9                        |         | tempo entre etapas      | 3           | 1   | 1      | 48    |
| 10                       |         | lavagem do moinho       | 3           | 3   | 1      | 66    |
| 11                       |         | número de passadas      | 3           | 3   | 3      | 84    |
| 12                       |         | amostragem              | 3           | 3   | 3      | 84    |
| 13                       | 6       | SM viscosidade          | 9           | 0   | 0      | 90    |
| 14                       |         | operador                | 3           | 3   | 3      | 84    |
| 15                       |         | acertos de cor e brilho | 3           | 1   | 1      | 48    |
| Total                    |         |                         | 750         | 288 | 288    |       |

Figura 4.20 Matriz de Causa e Efeito

#### 4.4.4 Análise de Regressão

Um dos fatores priorizados na matriz de causa e efeito foi a relação volume do lote / capacidade (volume da cuba) do moinho. Conforme comentado anteriormente, em geral, os lotes são alocados aos diversos tamanhos de moinho, seguindo-se um critério de faixas de volume. Teoricamente é possível trabalhar-se com uma variação de até  $\pm 50\%$  da capacidade nominal dos moinhos. Na prática, podem ocorrer variações maiores.

Para uma análise de correlação entre a viscosidade e a relação tamanho do lote / tamanho da cuba do moinho, o mais correto seria considerar-se como “tamanho do lote”, apenas a quantidade relativa à massa de moagem, em volume. Porém, o único dado coletado/disponível de tamanho de lote se refere à quantidade, em quilos, de tinta planejada

(Anexo 2). Como normalmente existe uma boa correlação entre o tamanho total e o tamanho da massa de moagem, foi considerada a quantidade total na análise de regressão, convertida em volume (galões).

A análise de correlação foi conduzida para a viscosidade Z3, considerando-se todos os processos juntos (Quadro 4.3) e somente para o processo no moinho 3P, que tem o maior número de lotes coletados (Quadro 4.4).

*Quadro 4.3 Análise de Regressão para Z3 x Tamanho do lote/Volume da cuba do moinho*

|   |                       |                             |        |       |       |
|---|-----------------------|-----------------------------|--------|-------|-------|
| Equação da regressão: $Z3 = 1,67 - 0,0167 \text{ Tam (gal)}/\text{MNH (gal)}$ |                       |                             |        |       |       |
|   | Coef                  | Coef EP                     | T      | P     |       |
| Constante   | 1,6653                | 0,3914                      | 4,25   | 0,000 |       |
| Tam (gal)/MNH   | -0,01667              | 0,01159                     | -1,44  | 0,152 |       |
| S = 2,802   | R <sup>2</sup> = 1,4% | R <sup>2</sup> (adj) = 0,7% |        |       |       |
| Análise de Variância  |                       |                             |        |       |       |
| Fonte   | GL                    | SQ                          | MQ     | F     | P     |
| Regressão   | 1                     | 16,263                      | 16,263 | 2,07  | 0,152 |
| Erro Residual   | 146                   | 1146,600                    | 7,853  |       |       |
| Total   | 147                   | 1162,863                    |        |       |       |

*Quadro 4.4 Análise de Regressão para moinho 3P - Z3 x Tamanho do lote(gal)/Volume da cuba do moinho(gal)*

|  |                       |                             |       |       |       |
|--|-----------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Equação da regressão: $Z3(3P) = 0,755 - 0,00371 \text{ Tam(gal)}/\text{MHN3P (gal)}$ |                       |                             |       |       |       |
|  | Coef                  | SE Coef                     | T     | P     |       |
| Constante  | 0,7546                | 0,2991                      | 2,52  | 0,015 |       |
| Tam/MHN3   | -0,003708             | 0,008888                    | -0,42 | 0,678 |       |
| S = 1,399  | R <sup>2</sup> = 0,3% | R <sup>2</sup> (adj) = 0,0% |       |       |       |
| Análise de Variância   |                       |                             |       |       |       |
| Fonte  | DF                    | SQ                          | MQ    | F     | P     |
| Regressão  | 1                     | 0,341                       | 0,341 | 0,17  | 0,678 |
| Erro Residual  | 55                    | 107,627                     | 1,957 |       |       |
| Total  | 56                    | 107,968                     |       |       |       |

Não foi observada correlação entre a relação do tamanho do lote/tamanho do moinho e a viscosidade Z3, considerando-se todos os moinhos juntos ou analisando-se somente os lotes produzidos no 3P.

Embora não tenham sido verificadas correlações, não é possível afirmar que elas não existam, por produto. As diferenças entre os lotes, isto é, o fato de cada lote acompanhado ser

de praticamente um produto diferente, além de outros fatores de ruído, podem estar se sobrepondo ao efeito do tamanho do lote.

## 4.5 Aprimoramento do Processo

Conforme foi observado no estudo de Estabilidade e Capacidade, o processo atual está longe de atingir o desempenho desejado. Isto pode ser consequência de fatores de entrada mal controlados, ou mesmo não controlados / considerados, além, é claro, da própria incapacidade natural do processo, tais como limitação técnicas de equipamentos e limitações tecnológicas.

A fim de tentar identificar a(s) possível(eis) causa(s) deste comportamento, para posterior ação de melhoria, optou-se pela execução de um Experimento (DOE).

### 4.5.1 Planejamento do Experimento

Para o planejamento do experimento, foram consideradas as seguintes questões:

1. Focalização na preparação de tintas pelo processo Moinho, que demonstrou ser o processo mais crítico em relação à viscosidade.

2. Execução da experimentação diretamente na Produção, uma vez que as condições de laboratório não contemplariam ou simulariam algumas das condições reais, selecionadas como as provavelmente mais importantes ou influentes. Em laboratório, por exemplo, a variação de temperatura ambiente não é tão brusca quanto na produção, não há como controlar o fluxo nos moinhos e o sistema de lavagem é diferenciado.

3. Ao definir-se a Produção como local de experimentação, automaticamente restringiu-se o número de experimentos a serem realizados. Isto é, como não há uma produção freqüente de lotes iguais e como cada lote leva cerca de 2 dias para sua produção, a execução de projetos com muitas variáveis seria praticamente inviável.

4. Definição dos moinhos tamanho 3P como os equipamentos para os testes. A seleção de apenas um tipo de moinho se baseou no fato de, em primeiro lugar, necessitar-se restringir ou fixar algumas variáveis, como foi comentado anteriormente. Em princípio, os moinhos diferem entre si basicamente em relação ao seu tamanho (volume da cuba de moagem), além disto, poderia ser considerada de qualquer forma uma variação de tamanho do lote x capacidade do moinho. O tipo 3P foi o escolhido pelos seguintes motivos: neste tamanho de

moinho é produzido o maior número de lotes (como pode ser visto no CEP); é um moinho “pequeno”, onde eventuais problemas nos lotes seriam mais facilmente contornados; e é o tipo com maior número de moinhos, 4, permitindo a execução de um maior número de experimentos simultâneos.

5. Definição do modelo de Projeto, dos fatores controláveis e níveis de variação. Dentre os fatores priorizados na Matriz de Causa e Efeito, foram selecionados apenas os três (de maior pontuação) para compor o DOE. Estes fatores são apresentados na Tabela 4.7, juntamente com seus níveis de variação.

*Tabela 4.7 Fatores e respectivos níveis de variação*

| FATORES                                      | NÍVEL BAIXO | NÍVEL ALTO |
|--|-------------|------------|
| A = Viscosidade da massa de moagem (Visc MM) | 70 KU's     | 100 KU's   |
| B = Fluxo de moagem (Fluxo MNH)              | Lento       | Rápido     |
| C = Volume do lote (Volume)                  | 200 litros  | 400 litros |

A temperatura ambiente e a temperatura da massa de moagem não foram selecionadas, principalmente porque não seria possível ou viável controlá-las. A variação proporcionada pelo antigo sistema de medição foi desconsiderada, pois se utilizou o novo sistema para estas medições.

Embora os 4 moinhos 3P (3P60, 3P61, 3P160 e 3P161) sejam do mesmo tamanho e modelo, eles têm características diferentes, que poderiam interferir no resultado do experimento, tais como: estado e quantidade das esferas de moagem, desgaste da carcaça, desgaste da bomba, etc. A fim de considerar esta variação, os testes foram distribuídos de maneira a manter os moinhos como blocos.

Assim, o modelo de projeto escolhido foi **Fatorial 2<sup>3</sup> com repetição (n=2) e confundido em blocos**, totalizando 16 experiências. Desta maneira, perde-se a interação de mais alta ordem (ABC), que fica confundida com o efeito do bloco.

Os níveis dos fatores controláveis foram selecionados respeitando-se os limites extremos de variação possível. As fórmulas das tintas são sempre arranjadas para que a viscosidade da massa de moagem fique na faixa recomendada de 70 a 100KU's (a 25° C), de

modo a garantir a obtenção da dispersão dos pigmentos.

Embora não haja atualmente nos moinhos um dispositivo para controle adequado do fluxo de moagem, é possível, mediante ajustes da bomba de alimentação, provocar uma variação significativa no fluxo. Foi considerado uma variação na faixa de 5 a 10 L/min como fluxo lento e de 20 a 25 L/min como fluxo rápido.

Normalmente, os lotes preparados no 3P variam de 200 a 400 litros. Volumes imediatamente menores ou maiores são produzidos respectivamente nos moinhos 1,5P e 16P.

6. Como o DOE se limitou a apenas 3 fatores mais um bloco, é muito importante que outros fatores presentes no sistema sejam fixados, de modo a diminuir ao máximo o ruído. Assim, durante a execução de toda a experimentação, as seguintes condições foram mantidas constantes:

Tinta: o produto preparado em todas as corridas foi o mesmo – Primer-acabamento cinza. Este produto foi escolhido por ter uma frequência regular de produção e por ter uma boa representatividade em relação ao processo moagem, apresentando características de primer e de acabamento simultaneamente. Foram tomados cuidados para garantir que a fórmula dos 16 lotes planejados fosse exatamente a mesma.

Matéria-prima: os materiais da fórmula mais influentes a nível de viscosidade, bem como os mais sujeitos à variação nas características de fornecimento, foram segregados inicialmente. Isto é, foram separadas quantidades de lotes iguais de resinas, pigmentos e cargas para os 16 lotes previstos. Não houve um controle especial nos lotes de aditivos, por serem materiais historicamente com alta qualidade de fornecimento e por serem adicionados em quantidades muito pequenas (com efeito insignificante sobre a viscosidade). Também não houve preocupação a nível de solventes pelo seu alto padrão de qualidade, característico da natureza dos processos de obtenção deste tipo de material.

Processo: uma seqüência de produção foi padronizada previamente, muito próxima da rotina atual, mas de forma a evitarem-se variações de tempo entre os intervalos das etapas. A pré-dispersão era feita sempre pelo mesmo operador, no primeiro turno do primeiro dia, utilizando-se o mesmo *cowles* dispersor. A moagem era feita em 2 passadas pelo moinho, e só iniciava no início do turno do segundo dia, sendo concluída no mesmo dia. A completagem, que também tinha o seu operador fixo, era feita no terceiro dia, e, logo após o seu término,

eram coletadas amostras e determinadas as viscosidades.

Acompanhamento: todos os lotes tiveram acompanhamento técnico do laboratório, durante toda a seqüência do processo, desde a pesagem e adição dos materiais, até a coleta das amostras para as medições. O técnico encarregado desta função (sempre o mesmo) era responsável também pelas medições de viscosidade, utilizando o “novo sistema de medição”.

Além da viscosidade final – Visc Final (Y1), variável de resposta principal, também foram coletadas ou verificadas outras informações, tais como temperatura e viscosidade da massa de moagem, temperatura ambiente, fluxo médio, temperatura média da massa durante a primeira e segunda passadas, tempo total de moagem e o teor de sólidos e massa de tinta, em cada fase do processo. Estes outros parâmetros serviram principalmente para o controle e verificação da execução correta dos lotes. Além disso, foi realizado um balanço de massas, a fim de verificar e/ou identificar perdas do processo (Anexo 7).

A matriz dos experimentos foi gerada, seguindo as definições acima, com o auxílio do *software* estatístico Minitab™ e é apresentada no Quadro 4.5, juntamente com as observações sobre o tipo de projeto.

*Quadro 4.5 Matriz dos experimentos, com fatores codificados e não codificados*

| Ordem Padrão | Ordem Exec | Pt Central | Blocos | Fatores em unidades não codificadas |           |        | Fatores em unidades codificadas |           |        |
|--------------|------------|------------|--------|-------------------------------------|-----------|--------|---------------------------------|-----------|--------|
|              |            |            |        | Visc MM                             | Fluxo MNH | Volume | Visc MM                         | Fluxo MNH | Volume |
| 1            | 2          | 1          | 1      | 70                                  | lento     | 200    | -1                              | -1        | -1     |
| 2            | 3          | 1          | 1      | 100                                 | alto      | 200    | 1                               | 1         | -1     |
| 3            | 4          | 1          | 1      | 100                                 | lento     | 400    | 1                               | -1        | 1      |
| 4            | 1          | 1          | 1      | 70                                  | alto      | 400    | -1                              | 1         | 1      |
| 5            | 12         | 1          | 2      | 100                                 | lento     | 200    | 1                               | -1        | -1     |
| 6            | 9          | 1          | 2      | 70                                  | alto      | 200    | -1                              | 1         | -1     |
| 7            | 10         | 1          | 2      | 70                                  | lento     | 400    | -1                              | -1        | 1      |
| 8            | 11         | 1          | 2      | 100                                 | alto      | 400    | 1                               | 1         | 1      |
| 9            | 6          | 1          | 3      | 70                                  | lento     | 200    | -1                              | -1        | -1     |
| 10           | 8          | 1          | 3      | 100                                 | alto      | 200    | 1                               | 1         | -1     |
| 11           | 5          | 1          | 3      | 100                                 | lento     | 400    | 1                               | -1        | 1      |
| 12           | 7          | 1          | 3      | 70                                  | alto      | 400    | -1                              | 1         | 1      |
| 13           | 14         | 1          | 4      | 100                                 | lento     | 200    | 1                               | -1        | -1     |
| 14           | 15         | 1          | 4      | 70                                  | alto      | 200    | -1                              | 1         | -1     |
| 15           | 16         | 1          | 4      | 70                                  | lento     | 400    | -1                              | -1        | 1      |
| 16           | 13         | 1          | 4      | 100                                 | alto      | 400    | 1                               | 1         | 1      |

|                           |       |                          |     |
|---------------------------|-------|--------------------------|-----|
| Projeto Fatorial Completo |       |                          |     |
| Fatores:                  | 3     | Projeto Base:            | 3;8 |
| Experimentos:             | 16    | Replicas:                | 2   |
| Blocos:                   | 4     | Pontos Centrais (total): | 0   |
| Geradores de bloco:       | ABC   | replicas                 |     |
| Bloco = ABC               | A B C | AB AC BC                 |     |

Resolução tipo IV significa que nenhum fator principal está confundido com outro efeito principal ou interação de dois fatores. As interações de 2 fatores também não estão confundidas entre si. O efeito do bloco está confundido com a interação de 3 fatores (ABC).

A partir desta matriz, foram configuradas e emitidas as Ordens de Produção correspondentes a cada um dos 16 experimentos. Em função das restrições de equipamento e tempo, a seqüência de execução não seguiu a ordem sugerida (randomizada), mas sim, uma divisão por dias, como se o dia fosse outro bloco. Na Tabela 4.8, podem ser visualizadas as condições e orientações práticas para a condução dos experimentos:

*Tabela 4.8 Matriz dos experimentos, com seqüência real de execução*

| <b>Ordem Padrão</b> | <b>OrdemExec dia</b> | <b>Blocos Moinho</b> | <b>Visc MM</b> | <b>Fluxo MNH</b> | <b>Volume</b> | <b>OP No. Lote</b> |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------|------------------|---------------|--------------------|
| 1                   | 1                    | 3P60                 | 70             | lento            | 200           | 4238               |
| 2                   | 2                    | 3P60                 | 100            | alto             | 200           | 4239               |
| 3                   | 3                    | 3P60                 | 100            | lento            | 400           | 4230               |
| 4                   | 4                    | 3P60                 | 70             | alto             | 400           | 4231               |
| 5                   | 4                    | 3P61                 | 100            | lento            | 200           | 4240               |
| 6                   | 1                    | 3P61                 | 70             | alto             | 200           | 777                |
| 7                   | 2                    | 3P61                 | 70             | lento            | 400           | 4232               |
| 8                   | 3                    | 3P61                 | 100            | alto             | 400           | 4234               |
| 9                   | 3                    | 3P160                | 70             | lento            | 200           | 4242               |
| 10                  | 4                    | 3P160                | 100            | alto             | 200           | 4243               |
| 11                  | 1                    | 3P160                | 100            | lento            | 400           | 4233               |
| 12                  | 2                    | 3P160                | 70             | alto             | 400           | 776                |
| 13                  | 2                    | 3P161                | 100            | lento            | 200           | 4244               |
| 14                  | 3                    | 3P161                | 70             | alto             | 200           | 4245               |
| 15                  | 4                    | 3P161                | 70             | lento            | 400           | 4236               |
| 16                  | 1                    | 3P161                | 100            | alto             | 400           | 775                |

#### 4.5.2 Execução do Experimento

A preparação dos 16 lotes de tinta planejados levou cerca de 2 meses para sua execução, em função da necessidade de adequação à disponibilidade e programação da produção. A Tabela 4.9 contém os resultados e principais informações auxiliares coletadas durante a execução.

Tabela 4.9 Resultados do DOE e demais informações coletadas

| Dia | Blocos |       | Visc. KU |       | Fluxo | Volume | OP | Visc.F#4 | Temp.(oC) | Visc. KU |        | Fluxo | Temp.(oC) | Tempo (h) |       | NV (%) |
|-----|--------|-------|----------|-------|-------|--------|----|----------|-----------|----------|--------|-------|-----------|-----------|-------|--------|
|     | MNH    | MM    | antes    | após  |       |        |    |          |           | antes    | moagem |       |           | moagem    | final |        |
| 1   | 1      | 3P60  | 70       | lento | 200   | 4238   | 63 | 27,1     | 68        | 72       | 5,3    | 37,9  | 6,50      | 53,9      |       |        |
| 2   | 2      | 3P60  | 100      | alto  | 200   | 4239   | 69 | 34,8     | 112       | 120      | 19,1   | 51,2  | 2,67      | 53,3      |       |        |
| 3   | 3      | 3P60  | 100      | lento | 400   | 4230   | 73 | 44,0     | 112       | 123      | 7,7    | 51,2  | 9,80      | 53,7      |       |        |
| 4   | 4      | 3P60  | 70       | alto  | 400   | 4231   | 63 | 29,2     | 68        | 72       | 19,1   | 38,1  | 4,58      | 53,9      |       |        |
| 5   | 4      | 3P61  | 100      | lento | 200   | 4240   | 63 | 33,3     | 114       | 113      | 6,5    | 48,7  | 4,46      | 54,2      |       |        |
| 6   | 1      | 3P61  | 70       | alto  | 200   | 777    | 59 | 32,2     | 67        | 72       | 21,5   | 40,0  | 1,30      | 55,2      |       |        |
| 7   | 2      | 3P61  | 70       | lento | 400   | 4232   | 67 | 27,5     | 69        | 72       | 8,2    | 39,3  | 9,90      | 53,7      |       |        |
| 8   | 3      | 3P61  | 100      | alto  | 400   | 4234   | 63 | 44,3     | 114       | 126      | 22,5   | 49,2  | 5,00      | 54,0      |       |        |
| 9   | 3      | 3P160 | 70       | lento | 200   | 4242   | 77 | 31,7     | 67        | 70       | 5,2    | 31,0  | 6,70      | 54,2      |       |        |
| 10  | 4      | 3P160 | 100      | alto  | 200   | 4243   | 62 | 33,6     | 112       | 112      | 19,1   | 42,4  | 2,08      | 53,7      |       |        |
| 11  | 1      | 3P160 | 100      | lento | 400   | 4233   | 63 | 41,6     | 93        | 88       | 5,6    | 40,5  | 12,00     | 54,2      |       |        |
| 12  | 2      | 3P160 | 70       | alto  | 400   | 776    | 55 | 31,6     | 69        | 74       | 20,4   | 33,8  | 4,30      | 54,1      |       |        |
| 13  | 2      | 3P161 | 100      | lento | 200   | 4244   | 65 | 29,2     | 112       | 126      | 10,6   | 55,1  | 3,90      | 53,1      |       |        |
| 14  | 3      | 3P161 | 70       | alto  | 200   | 4245   | 67 | 31,2     | 70        | 72       | 21,1   | 40,5  | 4,08      | 53,7      |       |        |
| 15  | 4      | 3P161 | 70       | lento | 400   | 4236   | 82 | 28,4     | 69        | 70       | 5,6    | 45,9  | 9,36      | 53,1      |       |        |
| 16  | 1      | 3P161 | 100      | alto  | 400   | 775    | 59 | 38,3     | 104       | 121      | 20,5   | 51,3  | 4,00      | 55,2      |       |        |

MNH = moinho; MM = massa de moagem; OP = ordem de produção; Visc.F#4 = Viscosidade copo Ford N.4, em segundos; PD = pré-dispersão; Visc. KU= viscosidade Krebs-Stormer, em KU's (unidades Krebs); NV = teor de sólidos.

O fluxo, bem como a temperatura durante a moagem, é um valor médio entre os valores médios obtidos durante as duas passadas pelo moinho. O tempo de moagem é o tempo total, isto é, a soma dos tempos das duas passagens da massa pelo moinho. O teor de sólidos, em peso (NV final), corresponde a mesma amostra final, coletada para determinação da viscosidade em copo Ford.

A variação da temperatura ambiente registrada durante a moagem foi de 22 a 29° C, 21 a 32° C, 24 a 26° C e 20 a 26° C, respectivamente para o primeiro, segundo, terceiro e quarto dia de testes.

Como pode ser observado na Tabela 4.9, a viscosidade Krebs-Stormer da massa de moagem apresentou um pequeno aumento, entre a determinação logo após a sua preparação (Visc. KU após PD) e a medida no dia seguinte, logo antes da moagem (Visc. KU antes MNH). Apesar disto, conseguiu-se obter uma variação adequada, muito próxima dos limites nominais estabelecidos.

#### 4.5.3 Avaliação da Viscosidade Final

Com o auxílio do *software* estatístico Minitab™, foi avaliado o efeito dos fatores controláveis na viscosidade final (Y1), obtendo-se os gráficos e resultados apresentados nas Figura 4.21, e Figura 4.22 e no Quadro 4.6.

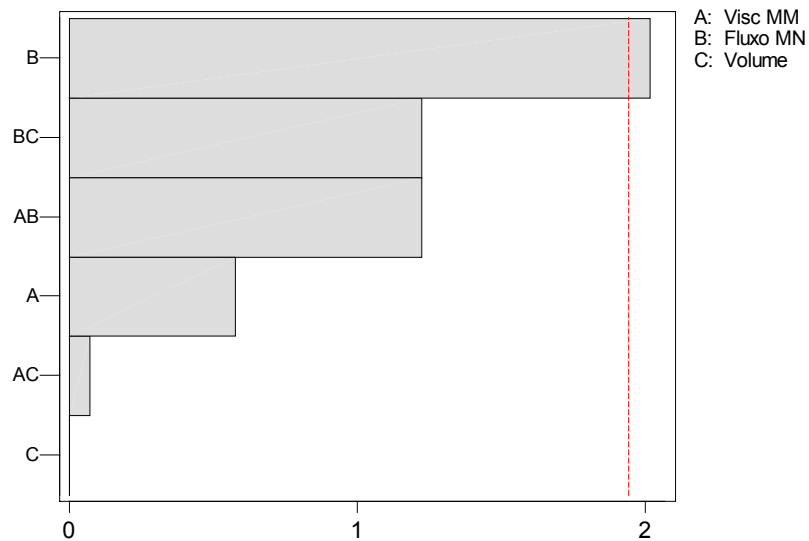


Figura 4.21 Gráfico de Pareto para os efeitos padronizados ( $\alpha = 0,10$ )

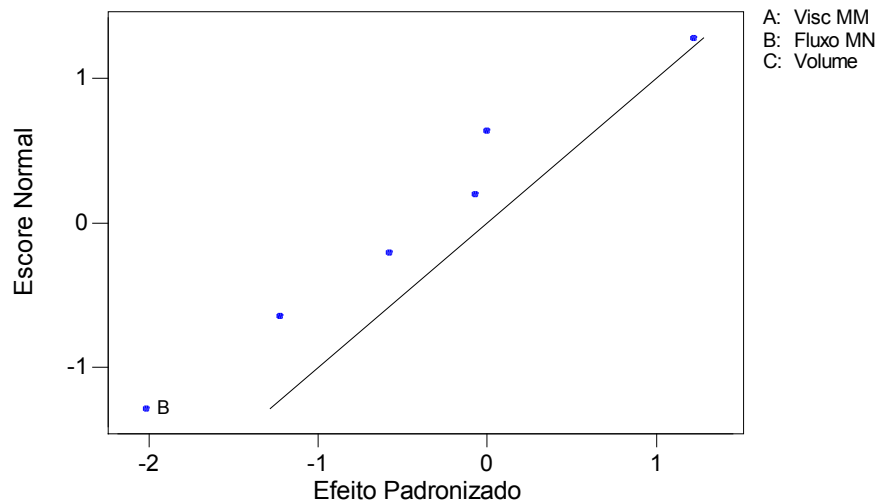


Figura 4.22 Papel de probabilidade normal para os efeitos padronizados ( $\alpha = 0,10$ )

Os gráficos permitem uma avaliação preliminar da significância dos fatores na viscosidade final. O gráfico de Pareto (Figura 4.21) sinaliza apenas o Fluxo (B) como efeito

significativo (barra acima da linha pontilhada). O gráfico de probabilidade da normal (Figura 4.22), que ajusta uma reta aos efeitos pouco significativos, indica também que o Fluxo é o fator mais influente, uma vez que é o ponto mais distante desta reta.

Uma avaliação mais precisa da significância dos fatores é obtida pela estimativa dos efeitos e coeficientes dos termos da equação do experimento, através de uma análise de regressão. No Quadro 4.6, são apresentados os resultados da regressão, bem como uma análise de variância para os grupos (efeitos principais, blocos e interações de dois fatores). Também são apresentados os coeficientes da equação para uso em unidades não codificadas.

*Quadro 4.6 Estimativa dos efeitos e análise de variância para viscosidade*

| <b>Visc Final versus Visc MM; Fluxo MNH; Volume</b>                              |             |               |         |        |              |       |
|--|-------------|---------------|---------|--------|--------------|-------|
| <u>Efeitos e Coeficientes Estimados para Visc (unidades codificadas)</u>         |             |               |         |        |              |       |
| Termo  | Efeito      | Coef          | Coef EP | T      | P            |       |
| Constante  |             | 65,625        | 1,734   | 37,84  | 0,000        |       |
| Bloco 1  |             | 1,375         | 3,004   | 0,46   | 0,663        |       |
| 2  |             | -2,625        | 3,004   | -0,87  | 0,416        |       |
| 3  |             | -1,375        | 3,004   | -0,46  | 0,663        |       |
| Visc MM  | -2,000      | -1,000        | 1,734   | -0,58  | 0,585        |       |
| <b>Fluxo MN</b>  | -7,000      | <b>-3,500</b> | 1,734   | -2,02  | <b>0,090</b> |       |
| Volume   | -0,000      | -0,000        | 1,734   | -0,00  | 1,000        |       |
| Visc MM*Fluxo MN   | 4,250       | 2,125         | 1,734   | 1,23   | 0,266        |       |
| Visc MM*Volume   | -0,250      | -0,125        | 1,734   | -0,07  | 0,945        |       |
| Fluxo MN*Volume  | -4,250      | -2,125        | 1,734   | -1,23  | 0,266        |       |
| <u>Análise de Variância para Visc (unidades codificadas)</u>                     |             |               |         |        |              |       |
| Fonte  | GL          | Seq SQ        | SQ Aju  | MQ Aju | F            | P     |
| Blocos   | 3           | 70,25         | 70,25   | 23,42  | 0,49         | 0,704 |
| Efeitos Princ  | 3           | 212,00        | 212,00  | 70,67  | 1,47         | 0,315 |
| Interações 2a Ord  | 3           | 144,75        | 144,75  | 48,25  | 1,00         | 0,454 |
| Erro Residual  | 6           | 288,75        | 288,75  | 48,12  |              |       |
| Total  | 15          | 715,75        |         |        |              |       |
| <u>Coeficientes Estimados para Visc usando dados em unidades não codificadas</u> |             |               |         |        |              |       |
| Termo  | Coef        |               |         |        |              |       |
| Constante  | 69,1667     |               |         |        |              |       |
| Bloco 1  | 1,37500     |               |         |        |              |       |
| 2  | -2,62500    |               |         |        |              |       |
| 3  | -1,37500    |               |         |        |              |       |
| Visc MM  | -0,041667   |               |         |        |              |       |
| Fluxo MN   | -9,1667     |               |         |        |              |       |
| Volume   | 0,0070833   |               |         |        |              |       |
| Visc MM*Fluxo MN   | 0,141667    |               |         |        |              |       |
| Visc MM*Volume   | -0,00008333 |               |         |        |              |       |
| Fluxo MN*Volume  | -0,0212500  |               |         |        |              |       |

Na primeira parte, referente à regressão, tem-se, para cada um dos termos do modelo,

os efeitos e coeficientes estimados, o erro padrão (Coef EP), o valor da estatística  $t$  e, finalmente, o *valor p*. Com o *valor p* é feito um teste de hipóteses, em relação ao nível de significância ( $\alpha$ ). O Fluxo foi o único fator significativo, com *valor p* de 0,09. Considerou-se um nível de significância de 0,10, pois este resultado é condizente com o conhecimento teórico.

Outras formas gráficas interessantes para visualização da região experimental e dos efeitos dos fatores são, respectivamente, o cubo (Figura 4.23) e o gráfico dos efeitos principais (Figura 4.24). Analisando-se estas figuras, é fácil observar que um fluxo mais rápido, resulta em viscosidades mais baixas, independente dos demais fatores.

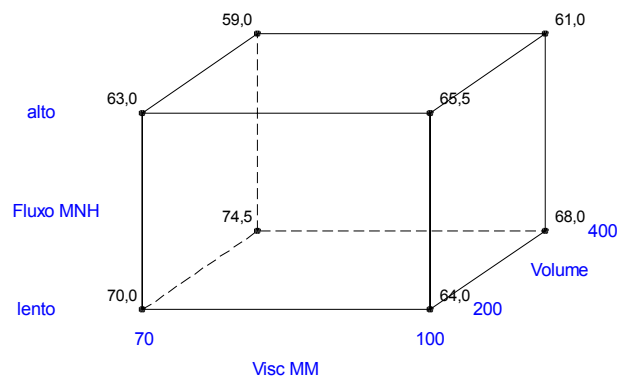


Figura 4.23 Representação do experimento em forma de cubo

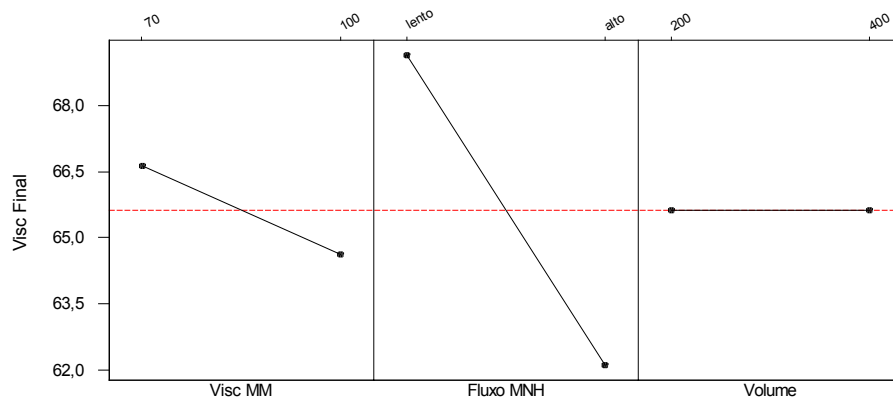


Figura 4.24 Gráfico dos efeitos principais

A análise dos resíduos, através do gráfico de probabilidade normal ou na forma de histograma (Figura 4.25, a e b), indica uma distribuição aproximadamente normal e randomizada dos resíduos, evidenciando a ausência de dados não usuais (*outliers*).

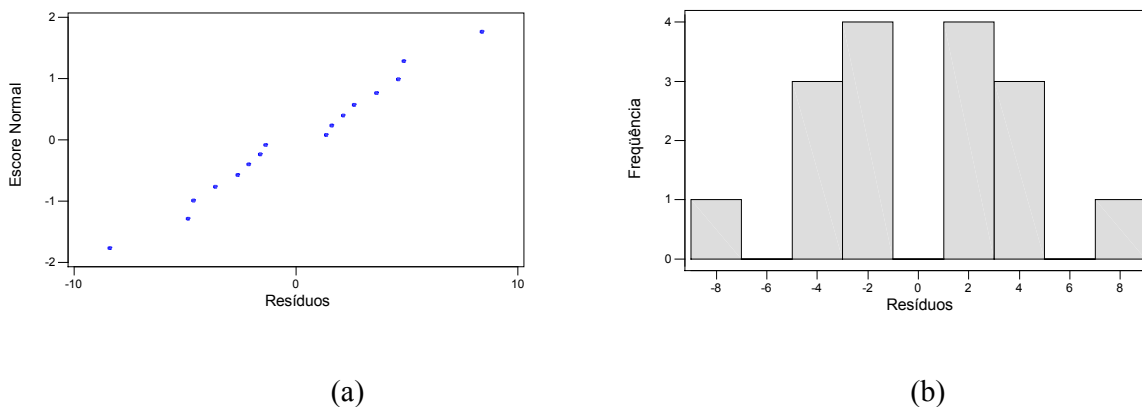


Figura 4.25 Análise dos resíduos: (a) gráfico de probabilidade normal; (b) histograma

A comparação dos valores de viscosidade entre as repetições indica um erro experimental grande na realização dos experimentos. Isto é uma indicação de que não se conseguiu manter os fatores não controláveis e constantes fixos e/ou existem outros fatores que não foram considerados e que têm influência significativa nos resultados.

#### 4.5.4 Avaliação de Outros Resultados

A título de conhecimento do processo, foram analisadas outras “respostas” coletadas, tais como temperatura da massa logo após a pré-dispersão, temperatura média da massa durante a moagem, tempo total de moagem e teor de não-voláteis da tinta final. O Quadro 4.7 apresenta um resumo com os fatores significativos para cada uma das variáveis, em ordem de significância, e seus respectivos coeficientes, em unidades codificadas. (Os resultados das análises de regressão e variância, bem como os gráficos dos efeitos principais ou interações são apresentados no Anexo 8).

*Quadro 4.7 Fatores significativos para outras respostas e seus coeficientes*

| <b>RESPOSTA</b>     | <b>FATORES SIGNIFICATIVOS</b>                                 |
|---------------------|---|
| Temperatura após PD | Visc MM (3,762); Visc MM*Volume (2,675); Volume (1,987)       |
| Temperatura Moagem  | Visc MM (5,194)   |
| Tempo de Moagem     | Fluxo MNH (-2,163); Volume (1,703); Fluxo MNH*Volume (-0,734) |
| NV Final            | Visc MM*Volume (0,312)  |

Durante a etapa de pré-dispersão, há uma elevação significativa da temperatura quando a viscosidade da massa de moagem e o volume do lote estão no nível alto. A temperatura da massa praticamente não é afetada quando se opera com a viscosidade da massa na faixa mais baixa, independente do volume.

A da temperatura durante a moagem é influenciada somente pela viscosidade da massa de moagem. Quanto menor a viscosidade, menor a elevação da temperatura.

O tempo de moagem, logicamente, é maior quanto menor o fluxo utilizado, e quanto maior o volume a ser moído. Porém, observou-se uma certa sinergia entre estes dois fatores, isto é, quando o fluxo é lento e o volume alto, o tempo de moagem fica aumentado.

Com relação ao teor de sólidos (NV Final), verificou-se um efeito sinérgico positivo entre a viscosidade da massa e o seu volume, isto é, teores mais elevados são observados quando se tem os dois fatores no nível baixo ou os dois fatores no nível alto.

A fim de verificar-se a influência destes 4 fatores na variável de resposta principal - viscosidade final, realizou-se uma análise de correlação. Os resultados, apresentados no Quadro 4.8, demonstraram haver correlação importante somente entre a viscosidade final (Visc Final) e o teor de sólidos final (NV Final) – correlação negativa.

Porém, tecnicamente, este resultado por si só não faz muito sentido, pois para um teor de sólidos mais baixo, o esperado seria uma viscosidade mais baixa.

*Quadro 4.8 Análise de correlação entre as respostas*

| <b>Correlações: Visc Final; Temp PD; Temp moagem; Tempo MNH; NV Final</b> |                               |                |                 |                 |
|---|-------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
|   | Visc Final                    | Temp PD        | Temp moa        | Tempo MNH       |
| Temp PD   | -0,095<br>0,726               |                |                 |                 |
| Temp moa  | 0,068<br>0,803                | 0,405<br>0,120 |                 |                 |
| TempoMNH  | 0,478<br>0,061                | 0,185<br>0,493 | -0,114<br>0,675 |                 |
| NV Final  | <b>-0,539</b><br><b>0,031</b> | 0,262<br>0,328 | -0,229<br>0,393 | -0,239<br>0,373 |
| Conteúdo das células: Correlação de Pearson                               |                               |                |                 |                 |
| Valor p   |                               |                |                 |                 |

#### 4.6 Considerações sobre os Resultados

O processo de preparação de tintas, na empresa cenário deste estudo, mostrou-se instável e não capaz, com relação ao parâmetro viscosidade, independentemente da etapa de medição (Y1, Y2, Y3 ou Y4). A inclusão proposital de uma etapa de acertos, como seqüência normal do processo, evidencia as limitações operacionais atuais dos processos.

O estudo para verificação das causas da variabilidade indicou ser o fluxo do moinho o único fator (dentre os avaliados) com influência significativa na viscosidade. Quanto mais rápido o fluxo, menor a viscosidade. Provavelmente não se atinge, com um fluxo rápido ou alto, o mesmo grau de dispersão e estabilização dos pigmentos obtido com o fluxo lento. Uma dispersão de grau alto e estável resulta normalmente em um encorpamento maior da tinta.

Apesar de todos os controles realizados, isto é, apesar de ter-se utilizado as mesmas matérias-primas, a mesma fórmula, a mesma seqüência de processo, com pequenas variações de temperatura ambiente, obteve-se uma variação de viscosidade considerável entre as repetições, ou seja um ruído alto para o experimento. O acompanhamento da preparação dos lotes foi importantíssimo para o entendimento de outros fatores que podem ter ocasionado esta variação entre as repetições.

Embora tenham sido tomados uma série de cuidados, houve dificuldades no fechamento dos balanços de massa (Anexo 7) da etapa de dispersão. Ocorreram diferenças, principalmente, entre a quantidade, em massa, que entra no moinho e a que é recolhida no final da moagem, após a lavagem. O acompanhamento do teor de sólidos (%NV) demonstrou que estas diferenças não se devem apenas a perdas por evaporação de solventes, o que seria

natural e esperado, em função de tratarem-se de moinhos abertos. Assim, existem outras entradas e/ou saídas não previstas e, portanto, não consideradas.

Verificou-se que estas entradas se referem a misturas tinta/solvente residuais do lote imediatamente anterior, que são total ou parcialmente recolhidos ao lote em produção. As saídas se referem à mistura tinta/solvente de lavagem residuais, que ficam retidos na cuba do moinho e que serão incorporados, da mesma maneira, ao próximo lote a ser produzido no equipamento. Isto é, verificou-se que não há um balanço uniforme das lavagens.

Para o caso dos moinhos 3P, com volume livre de cuba de 5L, não recolhe-se necessariamente 5L do lote anterior e nem deixa-se na cuba exatamente 5L do lote atual. Estas quantidades podem ser extremamente variáveis, em função do operador, do tipo de tinta e solvente de lavagem, das condições do equipamento, etc. Verificou-se, por exemplo, que os operadores do turno da noite faziam a lavagem do moinho apenas com o solvente de lavagem, enquanto que o pessoal do turno do dia utilizava a mistura com resina. A incorporação da tinta anterior depende também da cor do lote atual e do anterior. Em geral, se não houver risco de prejuízo significativo à cor, o resíduo da cuba é coletado.

Informações de levantamentos feitos anteriormente deram conta que os materiais residuais nas cubas, que deveriam ser basicamente solvente “sujo”, podem conter até 50% de sólidos. A sistemática atual, que prevê um certo aproveitamento da tinta anterior ao lote em produção, acaba por “contaminar” os lotes, já que resulta na adição de quantidades pequenas de materiais estranhos às fórmulas. Estes materiais são adicionados de maneira extremamente aleatória, alterando a composição original das tintas e, conseqüentemente, com impacto sobre a viscosidade.

A variação do teor de sólidos final dos lotes experimentais, que foi de até 1,5 pontos percentuais, também deve ter contribuído para o alto ruído do experimento. Uma variação neste nível poderia significar, para o caso específico desta tinta, uma diferença de até 10s na viscosidade, conforme verificado posteriormente. A correlação negativa verificada entre o teor de sólidos final (NV Final) e a viscosidade final (Visc Final), na prática, não faz sentido. Para o tipo de tinta estudada, espera-se que para um menor teor de sólidos corresponda um valor de viscosidade mais baixo.

Um outro fator que pode não ter sido eficazmente fixado e que pode ter contribuído para o erro experimental é o tempo ou intervalo para a medição da viscosidade. Embora as

viscosidades tenham sido medidas logo após concluída a completagem, houve diferenças de até 1 hora entre as medições, relacionadas a ajustes de temperatura/equipamento. Este intervalo, considerado inicialmente como adequado, pode ter resultado em alterações na variável de resposta de viscosidade das tintas. No gráfico apresentado na Figura 4.26, pode-se verificar a variação da viscosidade com o tempo, a partir do final da completagem, para a fórmula avaliada – *Primer* acabamento cinza.

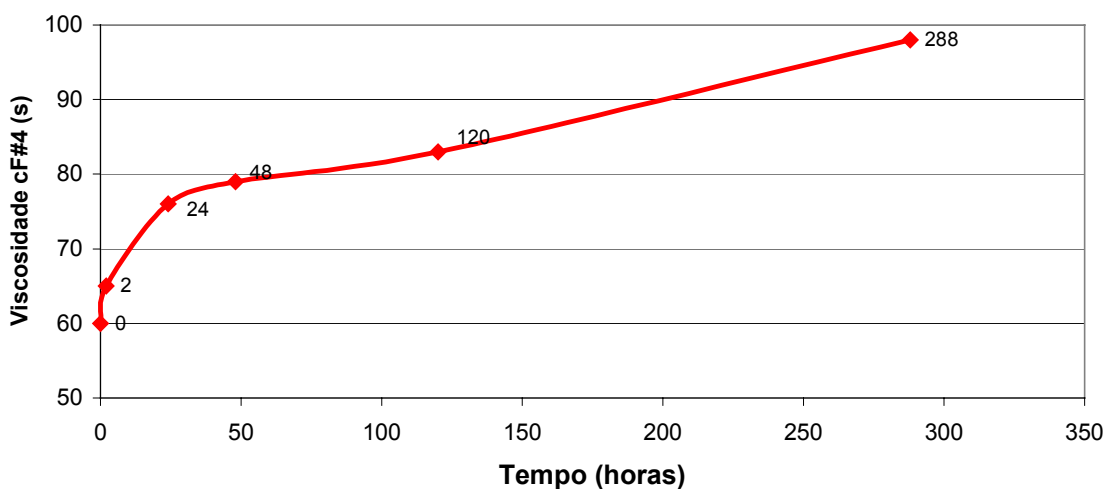


Figura 4.26 Gráfico de variação da viscosidade com o tempo

No caso do CEP, os dados também podem ter sido afetados por questões de instabilidade da viscosidade. O procedimento utilizado admitia uma variação de até 7h entre o final da completagem e as medições de viscosidade, podendo resultar em alterações significativas de viscosidade, dependendo da tinta. Aparentemente viscosidades iniciais mais altas tendem a apresentar maior alteração (aumento) de viscosidade com o tempo. Contudo, sabe-se que o intervalo entre o final da completagem e as medições e acertos rotineiramente executados na Produção podem ser ainda maiores.

As cartas de controle para Y1-Y2, que indicaram, em geral, um aumento na viscosidade em função de adições de “acertos” de concentrado, resina e/ou fosqueador aos lotes, também podem estar embutindo o efeito da instabilidade natural da viscosidade das tintas.

## 4.7 Controlar

A partir dos resultados obtidos nas etapas anteriores e de observações feitas durante a coleta de dados e execução dos testes na Produção, foi elaborado um Plano de Ação, apresentado no Quadro 4.9. Nele são descritas as melhorias sugeridas para o processo, que compreendem ações de curto, médio e longo prazo, em função do grau de dificuldade de implantação (Dif) e dos custos envolvidos.

Quadro 4.9 Plano de Ação

| O que / Onde   | Como   | Por que  | Quem  | Dif | Custo<br>US\$ | Quando<br>prazo |
|--|--|--|---|-----|---------------|-----------------|
| Implantação das melhorias no sistema de medição, na Produção.  | Aquisição de camisas para os copo Ford, mangueiras, engates e banho termostático (acoplar até 4 camisas no mesmo banho).   | Garantir a estabilidade da temperatura da amostra durante a medição.   | Chefe da Produção                                 | 1   | 2.000         | Curto           |
| Estabelecimento ou melhoria dos procedimentos de lavagem, nos moinhos da Produção.                               | Definição das quantidades mínimas de resina e solvente a serem utilizadas, por tamanho de moinho. Estabelecimento de procedimento de descarte da tinta anterior e recolhimento da tinta em andamento. Treinamento dos operadores conforme novos procedimentos. | Melhorar limpeza dos moinhos e minimizar contaminações com produções anteriores.   | Eng. da Qualidade                                 | 2   | -             | Curto           |
| Estabelecimento de intervalos mais homogêneos e curtos entre as etapas de produção, no PCP.                      | Melhorias na programação e controle, análise de gargalos, otimização do fluxo de produção.   | Minimizar perdas por evaporação (já que sistema é aberto) e variações da viscosidade com o tempo.                                      | PCP e Chefe da Produção                           | 5   | -             | Médio           |
| Estabelecimento de procedimento de acompanhamento de produtos novos e controle de causas especiais, na Produção. | Elaboração de procedimentos para alinhamento de produtos novos e de produtos com desvios (acompanhamento da produção de 3 lotes consecutivos).   | Para correção de desvios de fórmulas.  | Laboratório e Produção                            | 1   | -             | Curto           |
| Revisão / melhoria dos procedimentos de manutenção, dos moinhos da Produção.                                     | Estabelecimento de plano de manutenção preventiva e procedimentos de verificação pelo próprio operador (bombas, condições das esferas de moagem, nível de esferas).  | Garantir o bom funcionamento dos equipamentos e assim melhorar a reprodutibilidade.  | Manutenção, Chefe da Produção e Eng. da Qualidade | 1   | 5.000         | Médio           |
| Adaptação de controladores de fluxo, nos moinhos da Produção.  | Aquisição de controladores tipo <i>Micromotion</i> e instalação nos moinhos.   | Obter dispersão mais reprodutível e uniforme dos pigmentos, contribuindo também para menores variações de cor.                         | Manutenção  | 1   | 100.000       | Médio           |
| Estabelecimento de faixas de fluxo ótimo por tipo ou família de produtos, nas OP's.                              | Correção dos valores atualmente informados nas OP's a partir de avaliações práticas.   | Idem acima.  | Eng. da Qualidade e Químicos do Laboratório       | 3   | -             | Médio           |
| Alteração das faixas de liberação de viscosidade, nas prescrições (listas de testes dos produtos).               | Ampliar as faixas para pelo menos 40 seg. e utilizar tolerâncias assimétricas, com alvo mais próximo do limite inferior. Negociar com os clientes estas alterações.  | Compensar o aumento natural da viscosidade com o tempo e garantir que o cliente receba o produto ainda dentro da faixa de viscosidade. | Químicos do Laboratório e Vendedores              | 4   | -             | Longo           |

| O que / Onde  | Como  | Por que   | Quem                    | Dif | Custo<br>US\$ | Quando<br>prazo |
|---|---|---|-------------------------|-----|---------------|-----------------|
| Incorporação na completagem do solvente previsto p/ acerto, nas fórmulas.                         | Alteração das listas técnicas e roteiros de modo a deslocar o solvente final para a etapa de completagem. Estimar a quantidade deste solvente em função do histórico de produção. | Para eliminar a etapa de acerto, apoiada pelas melhorias acima e pela ampliação das faixas.   | Químicos do Laboratório | 4   | -             | Longo           |
| Restrição do uso dos moinhos do tipo 1,5 P na Produção.   | Estabelecimento de volume mínimo de produção acima de 50L. Lotes pequenos podem ser feitos nos distribuidores.  | Para evitar desvios nos lotes, decorrentes de moinho de pior performance  | PCP e Chefe da Produção | 2   |               | Curto           |
| Substituição dos moinhos atuais por moinhos fechados, de menor volume de residência, na Produção. | Aquisição de moinhos tipo cesto ou imersão para lotes de até 1200L (o que atende boa parte dos lotes) de fácil troca de <i>set-up</i> e limpeza.                                  | Minimização de perdas por evaporação de solvente e contaminações. Os tempos de processo ficam bastante reduzidos (pré-dispersão e dispersão no mesmo recipiente e tempo de dispersão reduzido em cerca de 80%). | Chefe da Produção       | 4   | 160.000       | Longo           |

## **5 COMENTÁRIOS FINAIS**

### **5.1 Conclusões**

Este trabalho abordou o emprego da metodologia Seis Sigma no estudo da variabilidade da viscosidade de lotes de produção de tintas, com vistas a sua redução. A redução da variabilidade da viscosidade resultará na diminuição do número de desvios e, portanto, dos acertos ou retrabalho dos lotes.

Do total de lotes analisados, 78,5% foram defeituosos, ou seja, apenas 21,5 % dos lotes não necessitaram acerto de viscosidade. Os processos atuais de fabricação, com relação ao parâmetro viscosidade, não são estáveis e não são capazes de atender as especificações, sem a etapa de acerto. O pior processo avaliado foi o em moinho 1,5P (moinho de menor tamanho), e o melhor foi o processo em mistura.

Em média, a viscosidade após a completagem foi 5,3 vezes mais alta que a semi-amplitude da tolerância (excluídos os lotes de causas especiais). A adição direta da quantidade de solvente prevista ao lote, proporciona um deslocamento em direção ao valor alvo. Isto é, a viscosidade passa a ser 1,7 vezes mais alta que a semi-amplitude da tolerância.

Em termos de viscosidade medida em copo Ford 4, em segundos, a diferença entre a medição já com o solvente previsto (Y3) e a medição logo após a completagem (Y1) foi, em média, de 28 segundos. A etapa de acertos de cor e brilho proporciona, em média, um aumento na viscosidade (Y2-Y1) de cerca de 6 segundos.

O tempo médio, para a realização dos acertos de viscosidade foi de 20 minutos, por lote analisado, excluídas as causas especiais. Ou seja, pelo menos o dobro do tempo estimado para o caso de se realizar somente a medição da viscosidade.

O sistema de medição utilizado contribuía para a variabilidade da viscosidade, uma vez que o erro de R&R consumia mais da metade da tolerância. Realizou-se melhorias no sistema de medição e o valor de R&R foi reduzido a cerca de 24%. Na fase final do trabalho, constatou-se que a viscosidade das tintas, em geral, varia (aumenta) com o tempo. Portanto, o tempo total de produção e/ou entre etapas é outro fator influente na viscosidade.

A identificação dos fatores de variação, através do DOE, para o processo em moinho, pode ter sido prejudicada pela magnitude do erro experimental. Embora vários fatores tenham sido fixados, verificou-se posteriormente que a instabilidade da viscosidade e a lavagem do moinho tinham grande influência. Apesar disto, o fluxo de moagem foi confirmado como fator significativo (quanto maior o fluxo, menor a viscosidade).

A execução do projeto de experimentos permitiu, de forma indireta, a identificação da sistemática de lavagem dos moinhos como fonte de variação. A incorporação aleatória do “resíduo de lavagem” do lote anterior, ao lote em produção, provoca modificações composicionais capazes de alterar a viscosidade da tinta. A elaboração de um mapeamento específico para o processo de dispersão poderia ter sinalizado antecipadamente a existência deste fator.

A variabilidade da viscosidade com o tempo tem outras implicações. Embora os lotes sejam sempre liberados dentro das faixas estabelecidas (após os acertos), os produtos, quando chegam aos clientes para utilização, cerca de uma semana depois, muito provavelmente não estão mais dentro destas faixas. Isto é, é despendido um grande esforço para ajustar um parâmetro que, na prática, na maioria dos casos, não estará conforme.

Como etapa final, um plano de melhorias foi elaborado, com ações direcionadas a cada um dos fatores de variação identificados. Do ponto de vista da metodologia Seis Sigma, entretanto, este projeto só será encerrado após a implementação do plano e verificação da sua eficácia.

## 5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

A operação totalmente manual, em equipamentos limitados e com um número grande de produtos diferentes, certamente dificulta padronizações de procedimentos e otimizações de processo que levariam a um menor índice de desvios e retrabalhos.

Assim, tão importante quanto aprimorar o processo pode ser a definição de quais parâmetros devem realmente ser controlados. Neste sentido, recomenda-se a realização de um estudo para identificação destes parâmetros, considerando-se também o ponto de vista do cliente.

A viscosidade, como se viu, é um parâmetro variável com o tempo, podendo resultar em não-conformidades detectadas pelos usuários das tintas, apesar dos esforços despendidos na sua produção e controle. A partir desta constatação, sugere-se a investigação do comportamento da viscosidade dos diferentes tipos de tintas.

Poderiam ser coletadas amostras de tintas aleatoriamente, de modo similar ao que foi feito no CEP. Com esta coleta, seria possível verificar, para os vários tipos e classes de tinta (primer, acabamento, à base de alquídica, epóxi, poliuretano, etc) e diferentes faixas de viscosidade, o perfil de variação da viscosidade com o tempo.

Este conhecimento permitiria definir e esclarecer, junto aos clientes, quais os critérios e faixas de especificação mais viáveis e realmente necessárias para um adequado e coerente controle dos lotes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, Mark J.; WHITCOMB, Patrick J. *Designing Experiments that Combine Mixture Components with Process Factors*. Paint & Coating Industry, v. 16, n. 11, p. 84-90, nov. 2001.
- AUAD, Rogério B.; PEIXOTO, Carlos A. *O processo contínuo dando as tintas em tempo real*. Revista Brasileira de Management, v.2, n.17, p. 40-44, set./out. 1999.
- BANOV, Abel. *Akzo's "Cockpit" controls production in Stuttgart*. American Paint & Coatings Journal, v. 71, n. 45, p. 37-45, abr. 1987.
- BOX, George E.P.; HUNTER, William G.; HUNTER, J. Stuart. *Statistics for Experimenters*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 1978.
- BREYFOGLE, Forrest W. *Implementig Six Sigma: Smarter solutions using statistical methods*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 1999.
- CAMPOS, Marco S. *Qualidade Seis Sigma: Formação de Green Belts* - Apostila de Curso. Porto Alegre: Siqueira Campos e Associados, 2001.
- CHAFER, Tim (Org.), *Industrial Coatings: Production, Application and Industrial Uses*. Alemanha: Verlag Moderne Industrie AG & Co., 1990.
- CHALLENGER, Cynthia. *Six Sigma: Can the GE Model work in the chemical industry?* Chemical Market Reporter, v. 260, n. 3, p. 6-10, jul. 2001.
- CLIFFORD, Lee. *Why you can safely ignore Six Sigma*. Fortune, v. 143, n. 2, p. 140, jan. 2001.
- DEUTSCH, Paul. *Qualidade – A estratégia para a conquista de novos mercados*. Abrafati Inform, v. 8, n. 30, 1997.
- DILGER, Karen A. *A philosophical discussion*. Manufacturing Systems, v. 17, n. 1, jan. 1999.
- EQUIPAMENTOS, importar, ou não? Eis a questão. Tintas & Vernizes, v. 37, n. 169, p.10-15, mar. 1997.
- FAZENDA, Jorge M. R. (Org.) *Tintas e Vernizes: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Abrafati, 1993.

- FERREIRA, Dilson. The brazilian market for paints and coatings. European Coatings Journal, n. 6, p. 547-553, 1989.
- HARE, Clive. The rheology of coatings. Journal of Protective Coatings & Linings, v. 8, n. 10, p.163-167, out. 1991.
- HICKS, Charles H. Fundamentals Concepts in the Design of Experiments. 2.ed. Flórida: Saunders College Publishing, 1982.
- HILL, H. Earl; PRANE, Joseph W. Applied Techniques in Statistics for Selected Industries: Coatings, Paints and Pigments. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 1984.
- KNELLER, Brian. Computerised formulation management and automated control in paint manufacture. Paint & Resin, v. 57, n. 3, jun. 1987.
- KOLB, Gerhard; HARBS, Theron W. Processo unificado de dispersão e moagem. 6º Congresso Internacional de Tintas, 1999, São Paulo. Anais. ABRAFATI, 1999.
- LÁZARO, Manuel L. Fabricación de pinturas. Máster en Tecnología de Pinturas, v. 5. Barcelona: Formació Continuada-Les Heures, 1997.
- LLACUNA, J. Llorenç. Reologia de pinturas. Máster en Tecnología de Pinturas, v. 1. Barcelona: Formació Continuada-Les Heures, 1997.
- LÓPEZ, José C. Conceptos fundamentales de las pinturas. Máster en Tecnología de Pinturas, v. 1. Barcelona: Formació Continuada-Les Heures, 1997.
- MACNEILL, Art. Superior in-line viscosity management. Paint & Coatings Industry, v. 16, n. 2, fev. 2000.
- MANUAL do software estatístico Minitab. Release 13:30. Minitab Inc., 2000.
- MARTENS, Scott L. Operationally deploying Six Sigma. Quality Congress, 2001, Milwaukee. Annual Quality Congress Proceedings, p. 750-755, 2001.
- MOCK, Theresa L. Reducing Process Variability in Chemical Batch Manufacturing. 1992. 164f.. Dissertação (Master of Science in Chemical Engineering and Management) – Department of Chemical Engineering and MIT Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.
- MONTGOMERY, Douglas C. Statistical Quality Control. Arizona: Courier Companies, 1985.
- MONTGOMERY, Douglas C., Design and Analysis of Experiments. Arizona: Courier

Companies, 1991.

MORRIS, Raymond A.; WATSON, Edward F. Determining Process Capability in a Chemical Batch Process. Quality Engineering, v. 10, n. 2, p. 389-396, 1997/1998.

NTD 102-04:1996 - Norma técnica de determinação da viscosidade em copo.

PANDE, Peter S. Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras empresas estão aguçando seu desempenho. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001.

PFEIL, Paulo R. Processo de preparação de concentrados e bases. Paint & Pintura, v. 5, n. 33, p. 100-106, mar. 2000.

“QUADRO geral de consumo de tintas e vernizes”. <<http://www.sitivesp.org.br>> (26/12/01).

“INDÚSTRIAS de tintas esperam retomar crescimento em 2002”. Notícias, dez. 2001. <<http://www.mundocor.com.br>> (19/12/01).

RIBEIRO, José L.; CATEN, Carla T. Controle Estatístico de Processos – Apostila de Curso. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre: UFRGS, 2000.

RIBEIRO, José L. e CATEN, Carla T. Projeto de Experimentos – Apostila de Curso. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre: UFRGS, 2000.

ROONEY, Charles. Start paint defect prevention now! European Coating Journal, n. 4, p. 218-228, 1991.

SAUER, Pamela. Six Sigma and the bottom line. Chemical Market Reporter, v. 260, n. 3, p. 10-12, jul. 2001.

SCHALL, Eller A. Manual de Controle de Qualidade na Indústria Química. Rio de Janeiro: Confederação Nacional da Indústria, 1982.

SCHMITT, Bill. Expanding six sigma: Have you signed up yet? Chemical Week, v. 163, n. 8, p. 21-23, fev. 2001.

SCHOFF, Clifford K. Recent advances in the rheology of high solids coatings. Progress in Organic Coatings, v. 4, p. 189-208, 1976.

SCIGLIANO, Sandra. Equipamentos para os fabricantes de tintas e vernizes. Tintas & Vernizes, v. 39, n. 179, out./nov. 1998.

SILVA, Edna L.; MENEZES, Estera M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2000.

SNELL, E. Bryan; KLIMPEL, Richard C. *New paths to paint plant efficiency.* 7º Congresso Internacional de Tintas, 2001, São Paulo. Anais. ABRAFATI, 2001.

VAN ARNUM, Patricia. *Six Sigma in the chemical industry: Where to begin.* Chemical Market Reporter, v. 260, n. 3, p.12, jul. 2001.

WICKS, Zeno W.; JONES, Frank N.; PAPPAS, S. Peter. *Organic Coatings: Science and Technology.* Estados Unidos: John Wiley & Sons, 1992.

WOOD, Andrew. *Making six sigma benefits stick.* Chemical Week, v. 163, n. 19, p. 40, maio, 2001.

## ANEXO 1

## Fotos Equipamentos Novo Sistema de Medição de Viscosidade



## ANEXO 2

### Dados Coletados (Y's)

| Lote No. | Tamanho Kg | Moinho MNH | Y1   | Y2 viscosidade | Y3  | Y4  | LS especificação | LI  | Alvo | Y5 tempo | Y6 difer. MP | difer.MP US\$ | Y2-Y1 | Y3-Y1 deltas | Y4-Y2 |
|----------|------------|------------|------|----------------|-----|-----|------------------|-----|------|----------|--------------|---------------|-------|--------------|-------|
| 1        | 6.322,0    | 30         | 192  |                | 70  |     | 80               | 60  | 70   | 00:20    | -154,2       | -138,8        |       | -122         |       |
| 2        | 583,1      | 16         | 95   |                | 63  |     | 44               | 40  | 42   | 00:00    |              |               |       | -32          |       |
| 3        | 399,8      | 3          | 27   |                | 24  |     | 44               | 40  | 42   | 00:00    |              |               |       | -3           |       |
| 4        | 399,0      | 0          | 64   |                | 64  |     | 80               | 60  | 70   | 00:00    |              |               |       | 0            |       |
| 5        | 66,7       | 1,5        | 103  |                | 79  |     | 80               | 60  | 70   | 00:00    |              |               |       | -24          |       |
| 6        | 223,1      | 0          | 83   | 91             | 57  |     | 90               | 40  | 65   | 00:15    | 0,1          | 0,1           | 8     | -26          |       |
| 7        | 5.967,9    | 30         | 78   |                | 70  |     | 80               | 60  | 70   | 00:00    |              |               |       | -8           |       |
| 8        | 200,3      | 3          | 178  |                | 106 |     | 80               | 60  | 70   | 00:20    | 9,1          | 8,2           |       | -72          |       |
| 9        | 307,4      | 3          | 261  |                | 197 |     | 80               | 60  | 70   | 00:15    | 26,0         | 70,9          |       | -64          |       |
| 10       | 419,1      | 0          | 72   |                | 57  |     | 80               | 60  | 70   | 00:00    |              |               |       | -15          |       |
| 11       | 744,0      | 16         | 99   |                | 70  | 70  | 30               | 20  | 25   | 00:22    | 162,8        | 267,0         |       | -29          |       |
| 12       | 741,6      | 16         | 97   |                | 97  |     | 100              | 80  | 90   | 00:00    |              |               |       | 0            |       |
| 13       | 442,8      | 16         | 973  |                | 261 |     | 80               | 60  | 70   | 00:30    | 55,2         | 49,7          |       | -712         |       |
| 14       | 585,1      | 0          | 265  |                | 117 | 117 | 80               | 60  | 70   | 00:30    | 21,5         | 19,3          |       | -148         |       |
| 15       | 462,3      | 3          | 80   |                | 71  | 71  | 60               | 40  | 50   | 00:20    | 15,6         | 25,6          |       | -9           |       |
| 16       | 1.087,7    | 16         | 109  |                | 76  | 76  | 80               | 70  | 75   | 00:15    | -14,3        | -12,8         |       | -33          |       |
| 17       | 6.832,0    | 30         | 220  |                | 191 | 191 | 80               | 60  | 70   | 00:45    | 185,8        | 167,2         |       | -29          |       |
| 18       | 2.215,6    | 16         | 155  |                | 87  | 87  | 80               | 60  | 70   | 00:35    | 0,1          | 0,1           |       | -68          |       |
| 19       | 123,2      | 0          | 64   | 72             | 64  | 72  | 75               | 45  | 60   | 00:10    | 0,0          | 0,0           | 8     | 0            | 0     |
| 20       | 175,0      | 0          | 140  | 180            | 77  |     | 90               | 40  | 65   | 00:15    | 0,0          | 0,0           | 40    | -63          |       |
| 21       | 370,0      | 3          | 273  |                | 103 | 103 | 90               | 70  | 80   | 00:20    | 0,0          | 0,0           |       | -170         |       |
| 22       | 128,8      | 3          | 88   | 113            | 50  | 54  | 44               | 40  | 42   | 00:15    | 4,3          | 3,9           | 25    | -38          | -59   |
| 23       | 869,4      | 16         | 71   | 77             | 32  | 34  | 44               | 40  | 42   | 00:40    | -32,9        | -29,6         | 6     | -39          | -43   |
| 24       | 1.760,0    | 16         | 715  |                | 145 | 145 | 120              | 100 | 110  | 01:00    | 147,1        | 132,4         |       | -570         |       |
| 25       | 233,0      | 3          | 17   | 17             | 14  | 14  | 17               | 13  | 15   | 00:15    | -0,7         | -0,6          | 0     | -3           | -3    |
| 26       | 191,1      | 0          | 43   | 45             | 43  | 45  | 65               | 45  | 55   | 00:10    | 0,0          | 0,0           | 2     | 0            | 0     |
| 27       | 1.164,1    | 0          | 28   |                | 28  | 28  | 25               | 20  | 22,5 | 00:10    | 0,0          | 0,0           |       | 0            |       |
| 28       | 145,4      | 3          | 34   | 31             | 19  | 19  | 16               | 14  | 15   | 00:20    | -0,7         | -1,1          | -3    | -15          | -12   |
| 29       | 56,0       | 0          | 135  | 164            | 78  |     | 90               | 40  | 65   | 00:15    | 0,4          | 0,4           | 29    | -57          |       |
| 30       | 3.732,7    | 30         | 75   |                | 73  | 73  | 85               | 75  | 80   | 00:15    | -34,9        | -57,2         |       | -2           |       |
| 31       | 77,5       | 0          | 149  | 186            | 69  |     | 90               | 40  | 65   | 00:15    | 0,7          | 0,6           | 37    | -80          |       |
| 32       | 4.339,2    | 30         | 18   |                | 16  | 16  | 17               | 14  | 15,5 | 00:10    | -217,0       | -355,8        |       | -2           |       |
| 33       | 440,0      | 3          | 224  |                | 203 | 203 | 60               | 50  | 55   | 00:15    | 67,3         | 120,4         |       | -21          |       |
| 34       | 80,0       | 1,5        | 114  |                | 89  | 89  | 70               | 50  | 60   | 00:25    | 3,0          | 2,7           |       | -25          |       |
| 35       | 430,6      | 16         | 408  | 370            | 185 | 186 | 80               | 60  | 70   | 00:20    | 35,5         | 31,9          | -38   | -223         | -184  |
| 36       | 37,2       | 1,5        | 223  | 271            | 140 | 173 | 80               | 60  | 70   | 00:15    | 3,3          | 3,4           | 48    | -83          | -98   |
| 37       | 430,6      | 1,5        | 123  | 128            | 85  | 87  | 80               | 60  | 70   | 00:15    | 3,5          | 3,1           | 5     | -38          | -41   |
| 38       | 5.248,3    | 30         | 262  | 181            | 159 | 122 | 100              | 80  | 90   | 01:00    | 75,9         | 67,5          | -81   | -103         | -59   |
| 39       | 95,2       | 1,5        | 228  | 289            | 65  | 72  | 100              | 90  | 95   | 00:10    | -2,6         | -2,4          | 61    | -163         | -217  |
| 40       | 154,4      | 3          | 1000 | 1000           | 224 |     | 80               | 60  | 70   | 00:20    | 7,7          | 6,9           | 0     | -776         |       |
| 41       | 55,4       | 0          | 59   | 80             | 59  | 80  | 90               | 40  | 65   | 00:10    | 0,0          | 0,0           | 21    | 0            | 0     |
| 42       | 176,5      | 0          | 79   | 87             | 56  | 59  | 80               | 60  | 70   | 00:15    | -4,7         | -4,2          | 8     | -23          | -28   |
| 43       | 7.027,2    | 30         | 127  |                | 60  |     | 80               | 60  | 70   | 00:00    |              |               |       | -67          |       |
| 44       | 223,1      | 0          | 80   | 103            | 59  | 72  | 90               | 40  | 65   | 00:20    | 0,1          | 0,1           | 23    | -21          | -31   |
| 45       | 50,8       | 1,5        | 229  | 354            | 138 |     | 44               | 40  | 42   | 00:21    | 4,5          | 4,0           | 125   | -91          |       |
| 46       | 1.159,7    | 0          | 27   |                | 27  | 27  | 25               | 20  | 22,5 | 00:00    | 0,0          | 0,0           |       | 0            |       |
| 47       | 105,8      | 1,5        | 521  |                | 269 | 269 | 80               | 60  | 70   | 00:20    | 7,9          | 7,1           |       | -252         |       |
| 48       | 123,5      | 3          | 100  |                | 59  | 59  | 80               | 60  | 70   | 00:15    | -2,3         | -2,0          |       | -41          |       |
| 49       | 330,7      | 16         | 122  | 115            | 110 | 107 | 80               | 60  | 70   | 00:15    | 2,7          | 2,4           | -7    | -12          | -8    |
| 50       | 206,0      | 3          | 333  | 320            | 197 | 187 | 80               | 60  | 70   | 00:25    | 23,6         | 64,4          | -13   | -136         | -133  |
| 51       | 2.198,4    | 16         | 146  |                | 112 |     | 120              | 100 | 110  | 00:00    |              |               |       | -34          |       |
| 52       | 441,8      | 16         | 391  |                | 94  | 94  | 100              | 80  | 90   | 00:20    | -10,7        | -9,7          |       | -297         |       |
| 53       | 308,6      | 0          | 148  | 159            | 86  | 103 | 80               | 60  | 70   | 00:20    | 1,4          | 1,3           | 11    | -62          | -56   |
| 54       | 103,0      | 0          | 47   |                | 46  | 46  | 30               | 25  | 27,5 | 00:10    | 11,0         | 23,0          |       | -1           |       |
| 55       | 197,4      | 3          | 122  | 142            | 80  | 81  | 80               | 60  | 70   | 00:10    | 1,8          | 1,9           | 20    | -42          | -61   |
| 56       | 189,9      | 3          | 155  | 172            | 111 | 132 | 80               | 60  | 70   | 00:10    | 8,8          | 8,9           | 17    | -44          | -40   |
| 57       | 300,2      | 3          | 80   | 90             | 61  | 69  | 60               | 50  | 55   | 00:20    | 7,2          | 6,4           | 10    | -19          | -21   |
| 58       | 20,2       | 0          | 247  |                | 247 | 247 | 19               | 15  | 17   | 00:00    | 0,0          | 0,0           |       | 0            |       |
| 59       | 645,7      | 0          | 153  | 196            | 88  | 111 | 90               | 40  | 65   | 00:30    | 0,1          | 0,1           | 43    | -65          | -85   |
| 60       | 69,4       | 1,5        | 78   | 77             | 45  | 47  | 90               | 40  | 65   | 00:10    | -1,6         | -1,4          | -1    | -33          | -30   |

| Lote No. | Tamanho Kg | Moinho MNH | Y1   | Y2 viscosidade | Y3   | Y4   | LS  | LI  | Alvo | Y5 tempo | Y6 difer. MP | difer.MP US\$ | Y2-Y1 | Y3-Y1 deltas | Y4-Y2 |
|----------|------------|------------|------|----------------|------|------|-----|-----|------|----------|--------------|---------------|-------|--------------|-------|
| 61       | 670,6      | 3          | 46   | 50             | 33   | 35   | 55  | 45  | 50   | 00:15    | -40,8        | -36,3         | 4     | -13          | -15   |
| 62       | 1.712,8    | 0          | 49   |                | 30   | 30   | 55  | 35  | 45   | 00:05    | -0,3         | -0,3          |       | -19          |       |
| 63       | 1.348,3    | 0          | 51   |                | 51   | 51   | 80  | 60  | 70   | 00:15    | 0,0          | 0,0           |       | 0            |       |
| 64       | 1.348,3    | 0          | 54   |                | 54   | 54   | 80  | 60  | 70   | 00:10    | 0,0          | 0,0           |       | 0            |       |
| 65       | 187,5      | 0          | 1000 | 1000           | 1000 | 1000 | 80  | 60  | 70   | 00:00    |              |               | 0     | 0            | 0     |
| 66       | 5.777,4    | 0          | 12   |                | 12   | 12   | 15  | 11  | 13   | 00:00    |              |               |       | 0            |       |
| 67       | 30,7       | 0          | 100  |                | 100  | 100  | 80  | 60  | 70   | 00:10    | 1,0          | 1,6           |       | 0            |       |
| 68       | 125,3      | 3          | 107  | 94             | 99   | 82   | 80  | 60  | 70   | 00:00    |              |               | -13   | -8           | -12   |
| 69       | 53,5       | 0          | 117  |                | 95   | 95   | 80  | 60  | 70   | 00:20    | 1,0          | 0,9           |       | -22          |       |
| 70       | 63,2       | 0          | 72   | 81             | 64   | 70   | 80  | 60  | 70   | 00:15    | 0,0          | 0,0           | 9     | -8           | -11   |
| 71       | 75,6       | 0          | 113  | 98             | 87   | 85   | 80  | 60  | 70   | 00:10    | 1,3          | 2,1           | -15   | -26          | -13   |
| 72       | 36,8       | 0          | 111  | 109            | 90   | 89   | 65  | 45  | 55   | 00:15    | 2,4          | 2,2           | -2    | -21          | -20   |
| 73       | 3.492,5    | 16         | 44   | 41             | 33   | 31   | 35  | 33  | 34   | 00:20    | -64,8        | -58,3         | -3    | -11          | -10   |
| 74       | 27,6       | 0          | 18   |                | 18   | 18   | 25  | 15  | 20   | 00:10    | 0,0          | 0,0           |       | 0            |       |
| 75       | 108,0      | 3          | 57   |                | 37   | 37   | 60  | 50  | 55   | 00:10    | -4,8         | -4,3          |       | -20          |       |
| 76       | 191,1      | 0          | 56   |                | 36   | 36   | 75  | 45  | 60   | 00:20    | -7,4         | -13,3         |       | -20          |       |
| 77       | 478,5      | 0          | 119  | 125            | 92   | 93   | 90  | 40  | 65   | 00:10    | 1,7          | 1,5           | 6     | -27          | -32   |
| 78       | 95,2       | 1,5        | 96   |                | 96   | 96   | 80  | 60  | 70   | 00:20    | 1,5          | 1,3           |       | 0            |       |
| 79       | 1.713,0    | 16         | 174  | 165            | 164  | 149  | 80  | 60  | 70   | 00:20    | 102,9        | 92,6          | -9    | -10          | -16   |
| 80       | 86,6       | 0          | 56   | 56             | 56   | 56   | 75  | 45  | 60   | 00:10    | 0,0          | 0,0           | 0     | 0            | 0     |
| 81       | 186,7      | 0          | 158  | 164            | 93   | 97   | 90  | 40  | 65   | 00:10    | 0,5          | 0,4           | 6     | -65          | -67   |
| 82       | 71,0       | 1,5        | 221  | 199            | 150  | 149  | 75  | 55  | 65   | 00:20    | 12,2         | 11,0          | -22   | -71          | -50   |
| 83       | 5.777,4    | 0          | 12   |                | 12   | 12   | 15  | 11  | 13   | 00:15    | -0,1         | -0,1          |       | 0            |       |
| 84       | 5.777,4    | 0          | 12   |                | 12   | 12   | 15  | 11  | 13   | 00:10    | -0,1         | -0,1          |       | 0            |       |
| 85       | 351,1      | 0          | 75   | 77             | 54   | 54   | 80  | 60  | 70   | 00:10    | -9,7         | -8,7          | 2     | -21          | -23   |
| 86       | 82,9       | 1,5        | 137  | 137            | 64   | 86   | 100 | 80  | 90   | 00:10    | 0,0          | 0,0           | 0     | -73          | -51   |
| 87       | 46,3       | 0          | 15   |                | 15   | 15   | 17  | 13  | 15   | 00:05    | 0,0          | 0,0           |       | 0            |       |
| 88       | 172,9      | 0          | 75   |                | 44   | 44   | 90  | 40  | 65   | 00:00    |              |               |       | -31          |       |
| 89       | 81,8       | 0          | 20   | 24             | 20   | 24   | 25  | 15  | 20   | 00:05    | 0,0          | 0,0           | 4     | 0            | 0     |
| 90       | 211,1      | 0          | 66   | 61             | 66   | 61   | 90  | 40  | 65   | 00:10    | 0,0          | 0,0           | -5    | 0            | 0     |
| 91       | 128,0      | 3          | 19   |                | 9    | 9    | 16  | 14  | 15   | 00:15    | -10,3        | -17,6         |       | -10          |       |
| 92       | 1.550,2    | 3          | 75   | 72             | 75   | 72   | 80  | 60  | 70   | 00:00    |              |               | -3    | 0            | 0     |
| 93       | 61,9       | 1,5        | 75   | 75             | 36   | 36   | 80  | 60  | 70   | 00:15    | -5,8         | -5,8          | 0     | -39          | -39   |
| 94       | 41,9       | 0          | 379  |                | 276  | 276  | 125 | 95  | 110  | 00:00    |              |               |       | -103         |       |
| 95       | 220,0      | 3          | 200  |                | 68   | 68   | 80  | 60  | 70   | 00:15    | -2,1         | -1,9          |       | -132         |       |
| 96       | 366,2      | 16         | 256  | 253            | 162  | 166  | 80  | 60  | 70   | 00:15    | 39,0         | 106,5         | -3    | -94          | -87   |
| 97       | 378,2      | 3          | 312  | 307            | 158  | 164  | 80  | 60  | 70   | 00:15    | 21,7         | 19,5          | -5    | -154         | -143  |
| 98       | 47,3       | 0          | 46   | 44             | 46   | 44   | 65  | 45  | 55   | 00:10    | 0,0          | 0,0           | -2    | 0            | 0     |
| 99       | 108,8      | 3          | 125  | 234            | 101  | 169  | 80  | 60  | 70   | 00:10    | 9,6          | 17,3          | 109   | -24          | -65   |
| 100      | 18,4       | 0          | 17   | 18             | 17   | 18   | 25  | 15  | 20   | 00:05    | 0,0          | 0,0           | 1     | 0            | 0     |
| 101      | 71,3       | 1,5        | 351  | 350            | 151  | 155  | 44  | 40  | 42   | 00:30    | 6,4          | 5,8           | -1    | -200         | -195  |
| 102      | 39,6       | 0          | 18   |                | 18   | 18   | 25  | 15  | 20   | 00:05    | 0,0          | 0,0           |       | 0            |       |
| 103      | 5.000,0    | 0          | 101  |                | 92   | 92   | 75  | 45  | 60   | 00:40    | 185,9        | 334,6         |       | -9           |       |
| 104      | 114,7      | 3          | 1000 | 1000           | 249  | 252  | 100 | 80  | 90   | 00:20    | 4,9          | 4,4           | 0     | -751         | -748  |
| 105      | 1.324,4    | 16         | 78   | 87             | 59   | 60   | 80  | 70  | 75   | 00:20    | -18,4        | -16,6         | 9     | -19          | -27   |
| 106      | 683,9      | 16         | 82   | 88             | 82   | 88   | 80  | 60  | 70   | 00:20    | 13,3         | 12,0          | 6     | 0            | 0     |
| 107      | 2.195,6    | 16         | 372  | 407            | 151  | 192  | 120 | 100 | 110  | 00:20    | 113,0        | 308,6         | 35    | -221         | -215  |
| 108      | 58,0       | 1,5        | 123  |                | 89   | 89   | 60  | 50  | 55   | 00:15    | 4,0          | 7,2           |       | -34          |       |
| 109      | 513,4      | 3          | 136  | 159            | 96   | 106  | 80  | 60  | 70   | 00:25    | 23,3         | 23,6          | 23    | -40          | -53   |
| 110      | 2.110,7    | 16         | 108  | 115            | 90   | 93   | 75  | 55  | 65   | 00:25    | 68,7         | 69,4          | 7     | -18          | -22   |
| 111      | 84,0       | 1,5        | 136  | 138            | 56   | 59   | 60  | 50  | 55   | 00:15    | -0,1         | -0,1          | 2     | -80          | -79   |
| 112      | 1.713,0    | 16         | 138  | 144            | 134  | 143  | 80  | 60  | 70   | 00:25    | 102,9        | 92,6          | 6     | -4           | -1    |
| 113      | 133,4      | 1,5        | 183  | 144            | 134  | 143  | 80  | 60  | 70   | 00:15    | 4,8          | 4,3           | -39   | -49          | -1    |
| 114      | 132,2      | 3          | 208  | 312            | 81   | 101  | 90  | 80  | 85   | 00:15    | 4,2          | 3,7           | 104   | -127         | -211  |
| 115      | 26,7       | 0          | 170  | 160            | 80   | 85   | 90  | 40  | 65   | 00:20    | 0,4          | 0,4           | -10   | -90          | -75   |
| 116      | 113,3      | 3          | 46   | 45             | 35   | 36   | 75  | 55  | 65   | 00:20    | -5,6         | -5,0          | -1    | -11          | -9    |
| 117      | 109,8      | 3          | 158  | 146            | 88   | 85   | 80  | 70  | 75   | 00:15    | 1,3          | 3,5           | -12   | -70          | -61   |
| 118      | 2.095,8    | 30         | 86   |                | 73   | 73   | 100 | 80  | 90   | 00:25    | -23,6        | -21,3         |       | -13          |       |
| 119      | 68,8       | 0          | 341  |                | 142  | 142  | 125 | 95  | 110  | 01:30    | 12,0         | 21,5          |       | -199         |       |
| 120      | 247,5      | 3          | 217  | 161            | 141  | 116  | 80  | 60  | 70   | 00:25    | 2,8          | 2,5           | -56   | -76          | -45   |

| Lote No. | Tamanho Kg | Moinho MNH | Y1   | Y2          | Y3   | Y4   | LS  | LI            | Alvo | Y5    | Y6        | difer.MP US\$ | Y2-Y1 | Y3-Y1 deltas | Y4-Y2 |
|----------|------------|------------|------|-------------|------|------|-----|---------------|------|-------|-----------|---------------|-------|--------------|-------|
|          |            |            |      | viscosidade |      |      |     | especificação |      | tempo | difer. MP |               |       |              |       |
| 121      | 811,4      | 16         | 235  | 397         | 159  | 242  | 70  | 60            | 65   | 00:30 | 48,9      | 44,0          | 162   | -76          | -155  |
| 122      | 207,9      | 3          | 107  | 125         | 61   | 73   | 80  | 60            | 70   | 00:15 | -0,6      | -0,5          | 18    | -46          | -52   |
| 123      | 1.260,4    | 16         | 62   | 78          | 62   | 78   | 80  | 60            | 70   | 00:20 | 38,0      | 33,8          | 16    | 0            | 0     |
| 124      | 92,0       | 1,5        | 449  | 500         | 215  | 296  | 44  | 40            | 42   | 00:40 | 13,4      | 12,1          | 51    | -234         | -204  |
| 125      | 196,6      | 3          | 81   | 97          | 57   | 64   | 75  | 55            | 65   | 00:15 | -0,2      | -0,2          | 16    | -24          | -33   |
| 126      | 43,6       | 1,5        | 1000 | 1000        | 264  | 295  | 70  | 60            | 65   | 00:00 |           |               | 0     | -736         | -705  |
| 127      | 206,8      | 3          | 110  | 110         | 89   | 98   | 80  | 60            | 70   | 00:20 | 4,3       | 3,8           | 0     | -21          | -12   |
| 128      | 2.419,2    | 30         | 83   | 115         | 77   | 110  | 50  | 70            | 60   | 00:35 | 55,6      | 50,0          | 32    | -6           | -5    |
| 129      | 107,0      | 1,5        | 312  | 324         | 312  | 324  | 80  | 60            | 70   | 00:25 |           |               | 12    | 0            | 0     |
| 130      | 2.335,3    | 30         | 52   | 45          | 37   | 29   | 35  | 30            | 32,5 | 00:15 | -70,1     | -63,1         | -7    | -15          | -16   |
| 131      | 6.588,0    | 30         | 161  |             | 161  | 161  | 80  | 60            | 70   | 00:30 | 138,1     | 124,3         |       | 0            |       |
| 132      | 187,7      | 3          | 66   | 78          | 35   | 38   | 80  | 60            | 70   | 00:10 | -17,5     | -17,7         | 12    | -31          | -40   |
| 133      | 55,1       | 0          | 107  | 107         | 82   | 93   | 80  | 60            | 70   | 00:20 | 2,2       | 3,6           | 0     | -25          | -14   |
| 134      | 66,3       | 0          | 71   | 85          | 49   | 57   | 80  | 60            | 70   | 00:15 | -1,0      | -1,6          | 14    | -22          | -28   |
| 135      | 58,3       | 0          | 96   | 109         | 87   | 97   | 80  | 60            | 70   | 00:20 | 1,8       | 1,6           | 13    | -9           | -12   |
| 136      | 55,7       | 0          | 117  | 126         | 75   | 82   | 80  | 60            | 70   | 00:20 | 1,3       | 2,1           | 9     | -42          | -44   |
| 137      | 56,0       | 1,5        | 76   | 86          | 55   | 59   | 80  | 60            | 70   | 00:10 | -1,3      | -2,1          | 10    | -21          | -27   |
| 138      | 117,0      | 0          | 140  | 171         | 77   | 92   | 90  | 40            | 65   | 00:15 | 0,7       | 0,6           | 31    | -63          | -79   |
| 139      | 130,9      | 0          | 55   | 56          | 55   | 56   | 75  | 45            | 60   | 00:10 |           |               | 1     | 0            | 0     |
| 140      | 155,0      | 3          | 267  | 310         | 98   | 114  | 110 | 100           | 105  | 00:15 | -1,6      | -1,5          | 43    | -169         | -196  |
| 141      | 600,0      | 3          | 83   |             | 67   | 67   | 65  | 45            | 55   | 00:20 | 0,1       | 0,3           |       | -16          |       |
| 142      | 82,9       | 3          | 247  | 270         | 105  | 118  | 100 | 80            | 90   | 00:20 | 0,0       | 0,0           | 23    | -142         | -152  |
| 143      | 206,0      | 3          | 200  | 271         | 115  | 151  | 80  | 60            | 70   | 00:20 | 12,6      | 11,3          | 71    | -85          | -120  |
| 144      | 104,9      | 1,5        | 275  | 312         | 275  | 312  | 110 | 100           | 105  | 00:20 | 4,0       | 3,6           | 37    | 0            | 0     |
| 145      | 177,0      | 3          | 100  | 115         | 61   | 67   | 70  | 60            | 65   | 00:20 | 0,5       | 0,5           | 15    | -39          | -48   |
| 146      | 1.827,1    | 30         | 99   | 111         | 99   | 111  | 100 | 80            | 90   | 00:20 | -0,2      | -0,2          | 12    | 0            | 0     |
| 147      | 134,6      | 1,5        | 1000 | 1000        | 523  | 573  | 120 | 100           | 110  | 00:20 | 0,5       | 0,4           | 0     | -477         | -427  |
| 148      | 403,3      | 16         | 101  | 113         | 73   | 80   | 75  | 55            | 65   | 00:20 | 2,8       | 2,6           | 12    | -28          | -33   |
| 149      | 228,7      | 3          | 282  | 401         | 124  | 174  | 44  | 40            | 42   | 00:20 | 26,0      | 23,4          | 119   | -158         | -227  |
| 150      | 226,0      | 0          | 78   | 82          | 57   | 59   | 80  | 60            | 70   | 00:20 | -6,2      | -5,6          | 4     | -21          | -23   |
| 151      | 1.408,7    | 16         | 124  | 115         | 97   | 94   | 65  | 45            | 55   | 00:30 | 59,6      | 53,7          | -9    | -27          | -21   |
| 152      | 196,6      | 0          | 117  | 115         | 78   | 75   | 90  | 40            | 65   | 00:20 | 0,4       | 0,4           | -2    | -39          | -40   |
| 153      | 513,4      | 3          | 161  | 190         | 101  | 104  | 75  | 55            | 65   | 00:20 | 24,3      | 24,6          | 29    | -60          | -86   |
| 154      | 5.411,7    | 16         | 12   | 12          | 11   | 11   | 13  | 11            | 12   | 00:00 |           |               | 0     | -1           | -1    |
| 155      | 1.480,9    | 16         | 84   | 79          | 59   | 56   | 60  | 40            | 50   | 00:35 | -22,9     | -20,6         | -5    | -25          | -23   |
| 156      | 83,7       | 1,5        | 864  | 585         | 533  | 262  | 75  | 65            | 70   | 00:20 | 14,1      | 12,7          | -279  | -331         | -323  |
| 157      | 479,5      | 3          | 118  | 126         | 77   | 79   | 80  | 60            | 70   | 00:20 | 1,3       | 1,2           | 8     | -41          | -47   |
| 158      | 2.148,3    | 16         | 1002 | 1000        | 506  | 590  | 120 | 100           | 110  | 00:50 | 192,6     | 173,3         | -2    | -496         | -410  |
| 159      | 727,2      | 16         | 101  | 95          | 93   | 89   | 75  | 65            | 70   | 00:20 | 24,6      | 22,2          | -6    | -8           | -6    |
| 160      | 118,6      | 3          | 63   | 62          | 57   | 56   | 75  | 65            | 70   | 00:15 | -1,7      | -1,5          | -1    | -6           | -6    |
| 161      | 469,2      | 3          | 124  | 140         | 84   | 85   | 75  | 65            | 70   | 00:34 | 9,8       | 15,2          | 16    | -40          | -55   |
| 162      | 133,7      | 3          | 132  | 139         | 91   | 94   | 75  | 65            | 70   | 00:20 | 2,6       | 2,3           | 7     | -41          | -45   |
| 163      | 103,5      | 1,5        | 209  | 210         | 98   | 100  | 75  | 65            | 70   | 00:20 | 2,3       | 2,1           | 1     | -111         | -110  |
| 164      | 218,2      | 3          | 87   | 96          | 77   | 79   | 75  | 65            | 70   | 00:00 |           |               | 9     | -10          | -17   |
| 165      | 219,2      | 3          | 112  | 116         | 112  | 116  | 75  | 65            | 70   | 00:15 | 11,8      | 10,6          | 4     | 0            | 0     |
| 166      | 3.165,2    | 16         | 51   | 51          | 32   | 32   | 30  | 25            | 27,5 | 00:20 | 56,4      | 50,2          | 0     | -19          | -19   |
| 167      | 37,2       | 0          | 56   | 56          | 56   | 56   | 90  | 40            | 65   | 00:10 |           |               | 0     | 0            | 0     |
| 168      | 273,0      | 0          | 159  | 150         | 132  | 131  | 80  | 60            | 70   | 00:20 | 17,0      | 15,1          | -9    | -27          | -19   |
| 169      | 91,1       | 0          | 72   | 106         | 72   | 106  | 70  | 60            | 65   | 00:20 | 4,8       | 7,9           | 34    | 0            | 0     |
| 170      | 691,2      | 16         | 258  | 813         | 100  | 309  | 70  | 60            | 65   | 00:25 | 39,9      | 35,9          | 555   | -158         | -504  |
| 171      | 370,0      | 3          | 97   |             | 88   | 88   | 60  | 40            | 50   | 01:20 | 19,7      | 32,2          |       | -9           |       |
| 172      | 3.109,6    | 16         | 53   | 53          | 27   | 27   | 32  | 28            | 30   | 00:25 | -60,2     | -164,3        | 0     | -26          | -26   |
| 173      | 167,9      | 3          | 442  | 568         | 222  | 278  | 80  | 60            | 70   | 00:20 | 10,3      | 9,3           | 126   | -220         | -290  |
| 174      | 403,3      | 3          | 146  | 167         | 84   | 100  | 75  | 55            | 65   | 00:20 | 5,8       | 5,3           | 21    | -62          | -67   |
| 175      | 84,0       | 1,5        | 130  | 128         | 91   | 103  | 60  | 50            | 55   | 00:10 | 2,4       | 2,2           | -2    | -39          | -25   |
| 176      | 207,1      | 3          | 245  | 218         | 133  | 129  | 80  | 60            | 70   | 00:20 | 20,5      | 56,0          | -27   | -112         | -89   |
| 177      | 56,0       | 0          | 18   |             | 18   | 18   | 20  | 15            | 17,5 | 00:10 | 0,0       | 0,0           |       | 0            |       |
| 178      | 1.600,0    | 16         | 77   |             | 50   | 50   | 70  | 60            | 65   | 00:15 | 4,3       | 4,3           |       | -27          |       |
| 179      | 60,2       | 1,5        | 1000 |             | 1000 | 1000 | 80  | 60            | 70   | 00:25 | 21,0      | 18,9          |       | 0            |       |
| 180      | 6.551,4    | 30         | 167  |             | 119  | 119  | 80  | 60            | 70   | 00:35 | 230,1     | 207,1         |       | -48          |       |

| Lote No. | Tamanho Kg | Moinho MNH | Y1  | Y2 viscosidade | Y3  | Y4  | LS  | LI  | Alvo | Y5 tempo | Y6 difer. MP | difer.MP US\$ | Y2-Y1 | Y3-Y1 deltas | Y4-Y2 |
|----------|------------|------------|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|------|----------|--------------|---------------|-------|--------------|-------|
| 181      | 392,0      | 0          | 144 | 144            | 91  | 94  | 80  | 60  | 70   | 00:15    | 9,3          | 8,3           | 0     | -53          | -50   |
| 182      | 2.243,7    | 16         | 89  |                | 83  | 83  | 85  | 75  | 80   | 00:20    | -21,0        | -34,4         |       | -6           |       |
| 183      | 3.165,2    | 16         | 52  | 54             | 32  | 33  | 30  | 25  | 27,5 | 00:30    | 56,4         | 50,2          | 2     | -20          | -21   |
| 184      | 444,0      | 3          | 115 | 127            | 92  | 102 | 100 | 80  | 90   | 00:20    | 2,1          | 1,9           | 12    | -23          | -25   |
| 185      | 45,2       | 1,5        | 27  | 29             | 21  | 22  | 27  | 23  | 25   | 00:10    | -2,3         | -2,0          | 2     | -6           | -7    |
| 186      | 1.760,0    | 16         | 375 |                | 69  | 69  | 120 | 100 | 110  | 00:00    |              |               |       | -306         |       |
| 187      | 5.253,6    | 30         | 336 | 269            | 208 | 190 | 100 | 80  | 90   | 00:40    | 180,9        | 161,0         | -67   | -128         | -79   |
| 188      | 100,0      | 1,5        | 285 | 244            | 256 | 212 | 80  | 60  | 70   | 00:20    | 6,5          | 5,9           | -41   | -29          | -32   |
| 189      | 892,4      | 16         | 424 |                | 202 | 202 | 80  | 60  | 70   | 00:20    | 32,2         | 28,9          |       | -222         |       |
| 190      | 91,1       | 1,5        | 138 | 150            | 80  | 86  | 80  | 60  | 70   | 00:15    | 0,0          | 0,0           | 12    | -58          | -64   |
| 191      | 224,2      | 3          | 88  | 106            | 75  | 84  | 70  | 50  | 60   | 00:00    |              |               | 18    | -13          | -22   |
| 192      | 56,0       | 0          | 158 | 215            | 85  | 117 | 90  | 40  | 65   | 00:10    | 3,9          | 3,4           | 57    | -73          | -98   |
| 193      | 290,0      | 0          | 145 | 169            | 79  | 92  | 90  | 40  | 65   | 00:15    | 6,4          | 5,7           | 24    | -66          | -77   |
| 194      | 200,3      | 3          | 329 | 434            | 114 | 145 | 35  | 30  | 32,5 | 00:15    | 15,7         | 14,2          | 105   | -215         | -289  |
| 195      | 204,8      | 1,5        | 113 | 134            | 72  | 83  | 75  | 55  | 65   | 00:15    | 0,8          | 0,8           | 21    | -41          | -51   |
| 196      | 172,9      | 3          | 109 |                | 60  | 60  | 55  | 45  | 50   | 00:00    |              |               |       | -49          |       |
| 197      | 682,6      | 3          | 196 | 189            | 115 | 117 | 75  | 55  | 65   | 00:20    | 51,9         | 52,4          | -7    | -81          | -72   |
| 198      | 386,4      | 3          | 89  | 98             | 73  | 85  | 65  | 45  | 55   | 00:00    |              |               | 9     | -16          | -13   |
| 199      | 826,9      | 16         | 231 |                | 143 | 143 | 80  | 60  | 70   | 00:25    | 28,0         | 43,4          |       | -88          |       |
| 200      | 112,2      | 0          | 153 | 209            | 72  | 95  | 90  | 40  | 65   | 00:10    | 1,9          | 1,7           | 56    | -81          | -114  |
| 201      | 86,9       | 1,5        | 300 | 315            | 205 | 194 | 45  | 35  | 40   | 00:20    | 8,3          | 7,4           | 15    | -95          | -121  |
| 202      | 14,7       | 0          | 21  | 29             | 21  | 29  | 25  | 15  | 20   | 00:10    |              |               | 8     | 0            | 0     |
| 203      | 27,3       | 0          | 28  | 37             | 28  | 37  | 25  | 15  | 20   | 00:10    |              |               | 9     | 0            | 0     |
| 204      | 20,4       | 0          | 84  | 95             | 84  | 95  | 75  | 45  | 60   | 00:10    |              |               | 11    | 0            | 0     |
| 205      | 226,8      | 3          | 231 | 204            | 231 | 204 | 80  | 60  | 70   | 00:00    |              |               | -27   | 0            | 0     |
| 206      | 3.314,5    | 30         | 40  | 40             | 27  | 25  | 35  | 30  | 32,5 | 00:40    | -138,3       | -124,5        | 0     | -13          | -15   |
| 207      | 4.378,0    | 30         | 241 | 259            | 222 | 226 | 120 | 100 | 110  | 00:35    | 87,6         | 239,3         | 18    | -19          | -33   |
| 208      | 2.215,6    | 30         | 102 | 149            | 62  | 78  | 80  | 60  | 70   | 00:30    | 56,1         | 50,5          | 47    | -40          | -71   |
| 209      | 1.980,0    | 30         | 67  | 63             | 48  | 45  | 80  | 70  | 75   | 00:25    | -64,9        | -58,4         | -4    | -19          | -18   |
| 210      | 4.381,8    | 30         | 361 |                | 137 | 137 | 80  | 60  | 70   | 00:30    | 159,7        | 143,7         |       | -224         |       |
| 211      | 7.455,4    | 30         |     |                | 104 | 104 | 100 | 80  | 90   | 00:30    | 40,0         | 36,0          |       |              |       |
| 212      | 5.253,6    | 30         | 288 | 175            | 182 | 125 | 100 | 80  | 90   | 00:40    | 150,9        | 134,3         | -113  | -106         | -50   |
| 213      | 7.027,2    | 30         | 156 |                | 73  |     | 80  | 60  | 70   | 00:00    |              |               |       | -83          |       |
| 214      | 5.471,8    | 30         | 227 | 202            | 77  | 70  | 80  | 60  | 70   | 00:35    | -44,9        | -40,4         | -25   | -150         | -132  |
|          | 221.469,9  |            |     |                |     |     |     |     |      |          | 2.536,1      | 2.977,4       |       |              |       |

## ANEXO 3

### Viscosidades Reduzidas (Z's)

| Lote | Z1   | Z2   | Z3   | Z4   | MNH | Lote | Z1    | Z2   | Z3   | Z4   | MNH | Lote | Z1    | Z2    | Z3   | Z4   | MNH |
|------|------|------|------|------|-----|------|-------|------|------|------|-----|------|-------|-------|------|------|-----|
| 1    | 12,2 | *    | 0    | *    | 30  | 73   | 10    | 7    | -1   | -3   | 16  | 145  | 7     | 10    | -0,8 | 0,4  | 3   |
| 2    | 26,5 | *    | 10,5 | *    | 16  | 74   | -0,4  | *    | -0,4 | -0,4 | 0   | 146  | 0,9   | 2,1   | 0,9  | 2,1  | 30  |
| 3    | -7,5 | *    | -9   | *    | 3   | 75   | 0,4   | *    | -3,6 | -3,6 | 3   | 147  | 89    | 89    | 41,3 | 46,3 | 1,5 |
| 4    | -0,6 | *    | -0,6 | *    | 0   | 76   | -0,3  | *    | -1,6 | -1,6 | 0   | 148  | 3,6   | 4,8   | 0,8  | 1,5  | 16  |
| 5    | 3,3  | *    | 0,9  | *    | 1,5 | 77   | 2,2   | 2,4  | 1,1  | 1,1  | 0   | 149  | 120   | 179,5 | 41   | 66   | 3   |
| 6    | 0,7  | 1    | -0,3 | *    | 0   | 78   | 2,6   | *    | 2,6  | 2,6  | 1,5 | 150  | 0,8   | 1,2   | -1,3 | -1,1 | 0   |
| 7    | 0,8  | *    | 0    | *    | 30  | 79   | 10,4  | 9,5  | 9,4  | 7,9  | 16  | 151  | 6,9   | 6     | 4,2  | 3,9  | 16  |
| 8    | 10,8 | *    | 3,6  | *    | 3   | 80   | -0,3  | -0,3 | -0,3 | -0,3 | 0   | 152  | 2,1   | 2     | 0,5  | 0,4  | 0   |
| 9    | 19,1 | *    | 12,7 | *    | 3   | 81   | 3,7   | 4    | 1,1  | 1,3  | 0   | 153  | 9,6   | 12,5  | 3,6  | 3,9  | 3   |
| 10   | 0,2  | *    | -1,3 | *    | 0   | 82   | 15,6  | 13,4 | 8,5  | 8,4  | 1,5 | 154  | 0     | 0     | -1   | -1   | 16  |
| 11   | 14,8 | *    | 9    | 9    | 16  | 83   | -0,5  | *    | -0,5 | -0,5 | 0   | 155  | 3,4   | 2,9   | 0,9  | 0,6  | 16  |
| 12   | 0,7  | *    | 0,7  | *    | 16  | 84   | -0,5  | *    | -0,5 | -0,5 | 0   | 156  | 158,8 | 103   | 92,6 | 38,4 | 1,5 |
| 13   | 90,3 | *    | 19,1 | *    | 16  | 85   | 0,5   | 0,7  | -1,6 | -1,6 | 0   | 157  | 4,8   | 5,6   | 0,7  | 0,9  | 3   |
| 14   | 19,5 | *    | 4,7  | 4,7  | 0   | 86   | 4,7   | 4,7  | -2,6 | -0,4 | 1,5 | 158  | 89,2  | 89    | 39,6 | 48   | 16  |
| 15   | 3    | *    | 2,1  | 2,1  | 3   | 87   | 0     | *    | 0    | 0    | 0   | 159  | 6,2   | 5     | 4,6  | 3,8  | 16  |
| 16   | 6,8  | *    | 0,2  | 0,2  | 16  | 88   | 0,4   | *    | -0,8 | -0,8 | 0   | 160  | -1,4  | -1,6  | -2,6 | -2,8 | 3   |
| 17   | 15   | *    | 12,1 | 12,1 | 30  | 89   | 0     | 0,8  | 0    | 0,8  | 0   | 161  | 10,8  | 14    | 2,8  | 3    | 3   |
| 18   | 8,5  | *    | 1,7  | 1,7  | 16  | 90   | 0     | -0,2 | 0    | -0,2 | 0   | 162  | 12,4  | 13,8  | 4,2  | 4,8  | 3   |
| 19   | 0,3  | 0,8  | 0,3  | 0,8  | 0   | 91   | 4     | *    | -6   | -6   | 3   | 163  | 27,8  | 28    | 5,6  | 6    | 1,5 |
| 20   | 3    | 4,6  | 0,5  | *    | 0   | 92   | 0,5   | 0,2  | 0,5  | 0,2  | 3   | 164  | 3,4   | 5,2   | 1,4  | 1,8  | 3   |
| 21   | 19,3 | *    | 2,3  | 2,3  | 3   | 93   | 0,5   | 0,5  | -3,4 | -3,4 | 1,5 | 165  | 8,4   | 9,2   | 8,4  | 9,2  | 3   |
| 22   | 23   | 35,5 | 4    | 6    | 3   | 94   | 17,9  | *    | 11,1 | 11,1 | 0   | 166  | 9,4   | 9,4   | 1,8  | 1,8  | 16  |
| 23   | 14,5 | 17,5 | -5   | -4   | 16  | 95   | 13    | *    | -0,2 | -0,2 | 3   | 167  | -0,4  | -0,4  | -0,4 | -0,4 | 0   |
| 24   | 60,5 | *    | 3,5  | 3,5  | 16  | 96   | 18,6  | 18,3 | 9,2  | 9,6  | 16  | 168  | 8,9   | 8     | 6,2  | 6,1  | 0   |
| 25   | 1    | 1    | -0,5 | -0,5 | 3   | 97   | 24,2  | 23,7 | 8,8  | 9,4  | 3   | 169  | 1,4   | 8,2   | 1,4  | 8,2  | 0   |
| 26   | -1,2 | -1   | -1,2 | -1   | 0   | 98   | -0,9  | -1,1 | -0,9 | -1,1 | 0   | 170  | 38,6  | 149,6 | 7    | 48,8 | 16  |
| 27   | 2,2  | *    | 2,2  | 2,2  | 0   | 99   | 5,5   | 16,4 | 3,1  | 9,9  | 3   | 171  | 4,7   | *     | 3,8  | 3,8  | 3   |
| 28   | 19   | 16   | 4    | 4    | 3   | 100  | -0,6  | -0,4 | -0,6 | -0,4 | 0   | 172  | 11,5  | 11,5  | -1,5 | -1,5 | 16  |
| 29   | 2,8  | 4    | 0,5  | *    | 0   | 101  | 154,5 | 154  | 54,5 | 56,5 | 1,5 | 173  | 37,2  | 49,8  | 15,2 | 20,8 | 3   |
| 30   | -1   | *    | -1,4 | -1,4 | 30  | 102  | -0,4  | *    | -0,4 | -0,4 | 0   | 174  | 8,1   | 10,2  | 1,9  | 3,5  | 3   |
| 31   | 3,4  | 4,8  | 0,2  | *    | 0   | 103  | 2,7   | *    | 2,1  | 2,1  | 0   | 175  | 15    | 14,6  | 7,2  | 9,6  | 1,5 |
| 32   | 1,7  | *    | 0,3  | 0,3  | 30  | 104  | 91    | 91   | 15,9 | 16,2 | 3   | 176  | 17,5  | 14,8  | 6,3  | 5,9  | 3   |
| 33   | 33,8 | *    | 29,6 | 29,6 | 3   | 105  | 0,6   | 2,4  | -3,2 | -3   | 16  | 177  | 0,2   | *     | 0,2  | 0,2  | 0   |
| 34   | 5,4  | *    | 2,9  | 2,9  | 1,5 | 106  | 1,2   | 1,8  | 1,2  | 1,8  | 16  | 178  | 2,4   | *     | -3   | -3   | 16  |
| 35   | 33,8 | 30   | 11,5 | 11,6 | 16  | 107  | 26,2  | 29,7 | 4,1  | 8,2  | 16  | 179  | 9,3   | *     | 9,3  | 9,3  | 1,5 |
| 36   | 15,3 | 20,1 | 7    | 10,3 | 1,5 | 108  | 13,6  | *    | 6,8  | 6,8  | 1,5 | 180  | 9,7   | *     | 4,9  | 4,9  | 30  |
| 37   | 5,3  | 5,8  | 1,5  | 1,7  | 1,5 | 109  | 6,6   | 8,9  | 2,6  | 3,6  | 3   | 181  | 7,4   | 7,4   | 2,1  | 2,4  | 0   |
| 38   | 17,2 | 9,1  | 6,9  | 3,2  | 30  | 110  | 4,3   | 5    | 2,5  | 2,8  | 16  | 182  | 1,8   | *     | 0,6  | 0,6  | 16  |
| 39   | 26,6 | 38,8 | -6   | -4,6 | 1,5 | 111  | 16,2  | 16,6 | 0,2  | 0,8  | 1,5 | 183  | 9,8   | 10,6  | 1,8  | 2,2  | 16  |
| 40   | 93   | 93   | 15,4 | *    | 3   | 112  | 6,8   | 7,4  | 6,4  | 7,3  | 16  | 184  | 2,5   | 3,7   | 0,2  | 1,2  | 3   |
| 41   | -0,2 | 0,6  | -0,2 | 0,6  | 0   | 113  | 11,3  | 7,4  | 6,4  | 7,3  | 1,5 | 185  | 1     | 2     | -2   | -1,5 | 1,5 |
| 42   | 0,9  | 1,7  | -1,4 | -1,1 | 0   | 114  | 24,6  | 45,4 | -0,8 | 3,2  | 3   | 186  | 26,5  | *     | -4,1 | -4,1 | 16  |
| 43   | 5,7  | *    | -1   | *    | 30  | 115  | 4,2   | 3,8  | 0,6  | 0,8  | 0   | 187  | 24,6  | 17,9  | 11,8 | 10   | 30  |
| 44   | 0,6  | 1,5  | -0,2 | 0,3  | 0   | 116  | -1,9  | -2   | -3   | -2,9 | 3   | 188  | 21,5  | 17,4  | 18,6 | 14,2 | 1,5 |
| 45   | 93,5 | 156  | 48   | *    | 1,5 | 117  | 16,6  | 14,2 | 2,6  | 2    | 3   | 189  | 35,4  | *     | 13,2 | 13,2 | 16  |
| 46   | 1,8  | *    | 1,8  | 1,8  | 0   | 118  | -0,4  | *    | -1,7 | -1,7 | 30  | 190  | 6,8   | 8     | 1    | 1,6  | 1,5 |
| 47   | 45,1 | *    | 19,9 | 19,9 | 1,5 | 119  | 15,4  | *    | 2,1  | 2,1  | 0   | 191  | 2,8   | 4,6   | 1,5  | 2,4  | 3   |
| 48   | 3    | *    | -1,1 | -1,1 | 3   | 120  | 14,7  | 9,1  | 7,1  | 4,6  | 3   | 192  | 3,7   | 6     | 0,8  | 2,1  | 0   |
| 49   | 5,2  | 4,5  | 4    | 3,7  | 16  | 121  | 34    | 66,4 | 18,8 | 35,4 | 16  | 193  | 3,2   | 4,2   | 0,6  | 1,1  | 0   |
| 50   | 26,3 | 25   | 12,7 | 11,7 | 3   | 122  | 3,7   | 5,5  | -0,9 | 0,3  | 3   | 194  | 118,6 | 160,6 | 32,6 | 45   | 3   |
| 51   | 3,6  | *    | 0,2  | *    | 16  | 123  | -0,8  | 0,8  | -0,8 | 0,8  | 16  | 195  | 4,8   | 6,9   | 0,7  | 1,8  | 1,5 |
| 52   | 30,1 | *    | 0,4  | 0,4  | 16  | 124  | 203,5 | 229  | 86,5 | 127  | 1,5 | 196  | 11,8  | *     | 2    | 2    | 3   |
| 53   | 7,8  | 8,9  | 1,6  | 3,3  | 0   | 125  | 1,6   | 3,2  | -0,8 | -0,1 | 3   | 197  | 13,1  | 12,4  | 5    | 5,2  | 3   |
| 54   | 7,8  | *    | 7,4  | 7,4  | 0   | 126  | 187   | 187  | 39,8 | 46   | 1,5 | 198  | 3,4   | 4,3   | 1,8  | 3    | 3   |
| 55   | 5,2  | 7,2  | 1    | 1,1  | 3   | 127  | 4     | 4    | 1,9  | 2,8  | 3   | 199  | 16,1  | *     | 7,3  | 7,3  | 16  |
| 56   | 8,5  | 10,2 | 4,1  | 6,2  | 3   | 128  | -2,3  | -5,5 | -1,7 | -5   | 30  | 200  | 3,5   | 5,8   | 0,3  | 1,2  | 0   |
| 57   | 5    | 7    | 1,2  | 2,8  | 3   | 129  | 24,2  | 25,4 | 24,2 | 25,4 | 1,5 | 201  | 52    | 55    | 33   | 30,8 | 1,5 |
| 58   | 115  | *    | 115  | 115  | 0   | 130  | 7,8   | 5    | 1,8  | -1,4 | 30  | 202  | 0,2   | 1,8   | 0,2  | 1,8  | 0   |
| 59   | 3,5  | 5,2  | 0,9  | 1,8  | 0   | 131  | 9,1   | *    | 9,1  | 9,1  | 30  | 203  | 1,6   | 3,4   | 1,6  | 3,4  | 0   |
| 60   | 0,5  | 0,5  | -0,8 | -0,7 | 1,5 | 132  | -0,4  | 0,8  | -3,5 | -3,2 | 3   | 204  | 1,6   | 2,3   | 1,6  | 2,3  | 0   |
| 61   | -0,8 | 0    | -3,4 | -3   | 3   | 133  | 3,7   | 3,7  | 1,2  | 2,3  | 0   | 205  | 16,1  | 13,4  | 16,1 | 13,4 | 3   |
| 62   | 0,4  | *    | -1,5 | -1,5 | 0   | 134  | 0,1   | 1,5  | -2,1 | -1,3 | 0   | 206  | 3     | 3     | -2,2 | -3   | 30  |
| 63   | -1,9 | *    | -1,9 | -1,9 | 0   | 135  | 2,6   | 3,9  | 1,7  | 2,7  | 0   | 207  | 13,1  | 14,9  | 11,2 | 11,6 | 30  |
| 64   | -1,6 | *    | -1,6 | -1,6 | 0   | 136  | 4,7   | 5,6  | 0,5  | 1,2  | 0   | 208  | 3,2   | 7,9   | -0,8 | 0,8  | 30  |
| 65   | 93   | 93   | 93   | 93   | 0   | 137  | 0,6   | 1,6  | -1,5 | -1,1 | 1,5 | 209  | -1,6  | -2,4  | -5,4 | -6   | 30  |
| 66   | -0,5 | *    | -0,5 | -0,5 | 0   | 138  | 3     | 4,2  | 0,5  | 1,1  | 0   | 210  | 29,1  | *     | 6,7  | 6,7  | 30  |
| 67   | 3    | *    | 3    | 3    | 0   | 139  | -0,3  | -0,3 | -0,3 | -0,3 | 0   | 211  | *     | *     | 1,4  | 1,4  | 30  |
| 68   | 3,7  | 2,4  | 2,9  | 1,2  | 3   | 140  | 32,4  | 41   | -1,4 | 1,8  | 3   | 212  | 19,8  | 8,5   | 9,2  | 3,5  | 30  |
| 69   | 4,7  | *    | 2,5  | 2,5  | 0   | 141  | 2,8   | *    | 1,2  | 1,2  | 3   | 213  | 8,6   | *     | 0,3  | *    | 30  |
| 70   | 0,2  | 1,1  | -0,6 | 0    | 0   | 142  | 15,7  | 18   | 1,5  | 2,8  | 3   | 214  | 15,7  | 13,2  | 0,7  | 0    | 30  |
| 71   | 4,3  | 2,8  | 1,7  | 1,5  | 0   | 143  | 13    | 20,1 | 4,5  | 8,1  | 3   |      |       |       |      |      |     |
| 72   | 5,6  | 5,4  | 3,5  | 3,4  | 0   | 144  | 34    | 41,4 | 34   | 41,4 | 1,5 |      |       |       |      |      |     |

## ANEXO 4

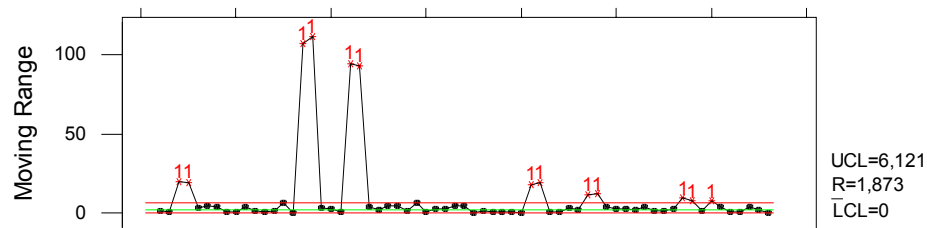
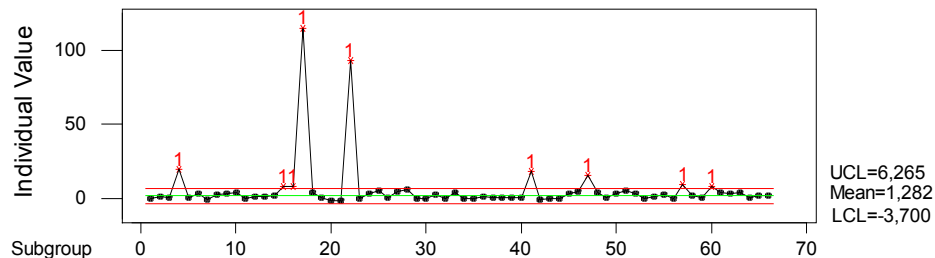
### Cartas de Controle por Processo

#### I/MR for Z1R\_0,0

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.

Test Failed at points: 4 15 16 17 22 41 47 57 60

#### Carta de Controle para Z1 MNH 0

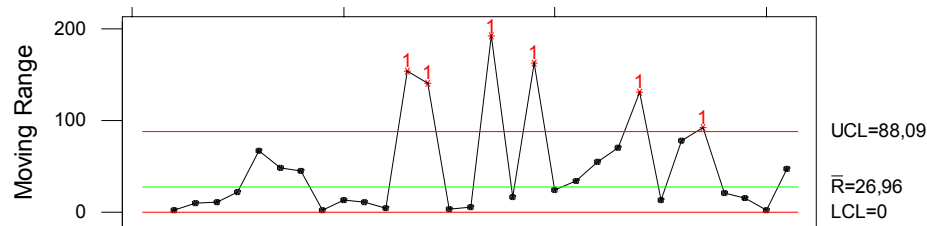
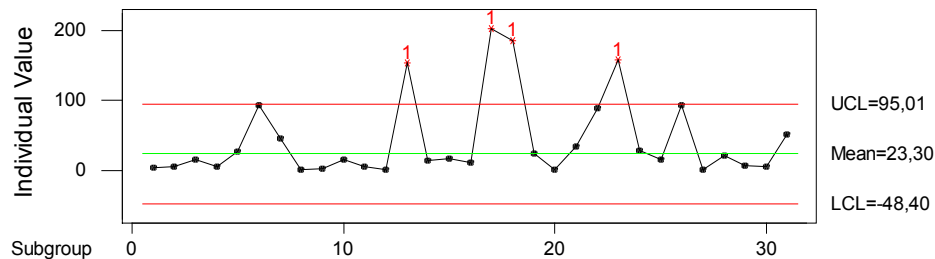


#### I/MR for Z1R\_1,5

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.

Test Failed at points: 13 17 18 23

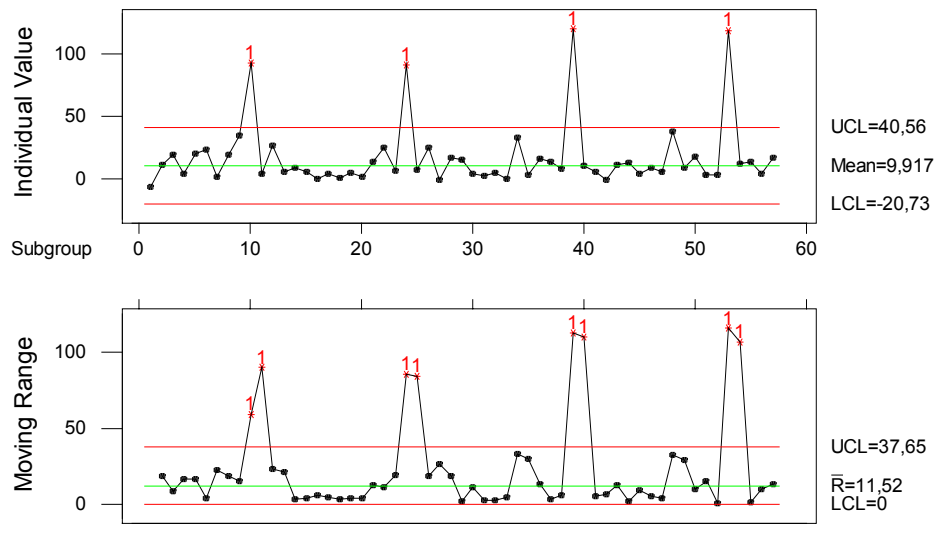
#### Carta de Controle para Z1 MNH 1,5



### I/MR for Z1R\_3,0

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
Test Failed at points: 10 24 39 53

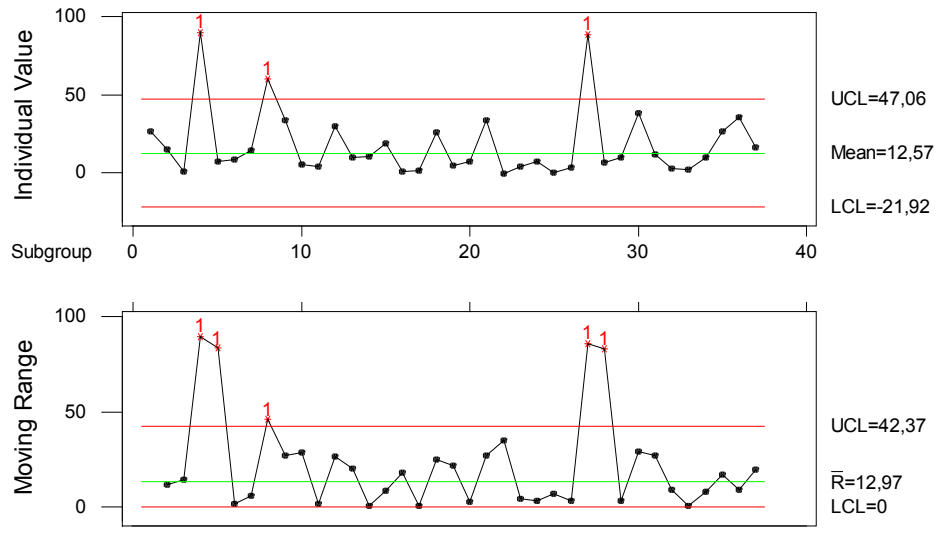
#### Carta de Controle para Z1 MNH 3



### I/MR for Z1R\_16,0

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
Test Failed at points: 4 8 27

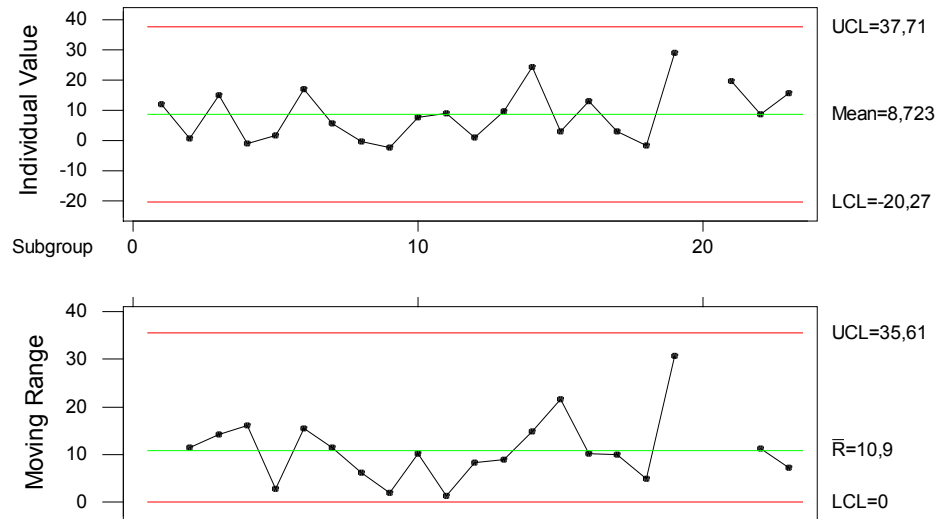
#### Carta de Controle para Z1 MNH 16



**I/MR for Z1R\_30,0**

Test Results for I Chart  
 Test Results for MR Chart

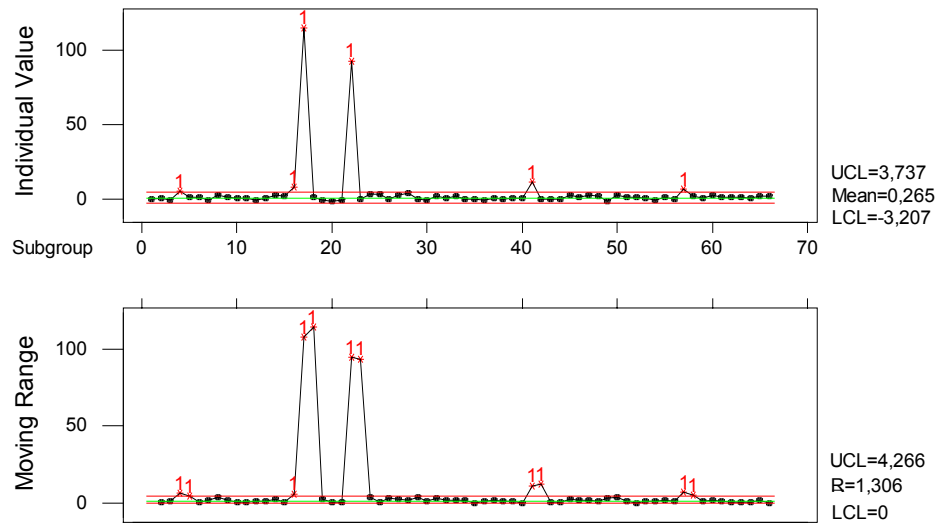
**Carta de Controle para Z1 MNH 30**



**5.2.1.1.1 I/MR for Z3R\_0,0**

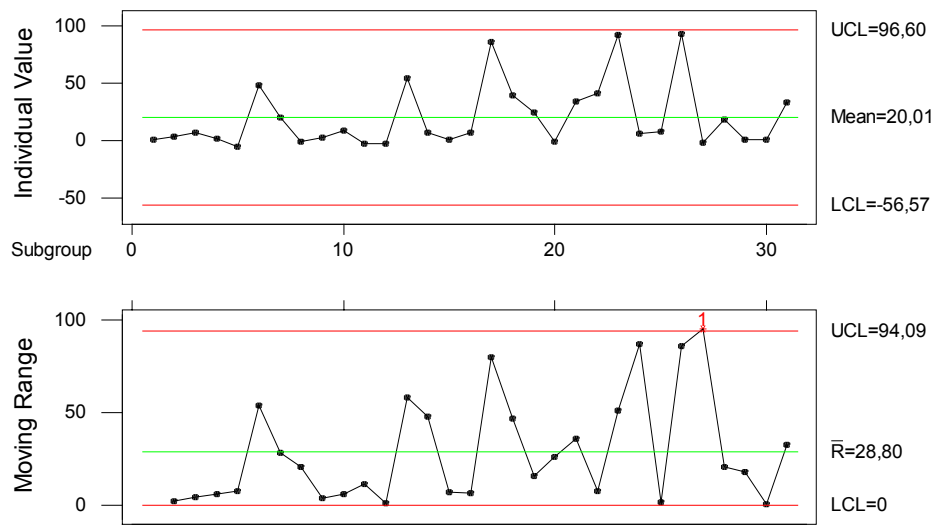
TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
 Test Failed at points: 4 16 17 22 41 57

**Carta de Controle para Z3 MNH 0**



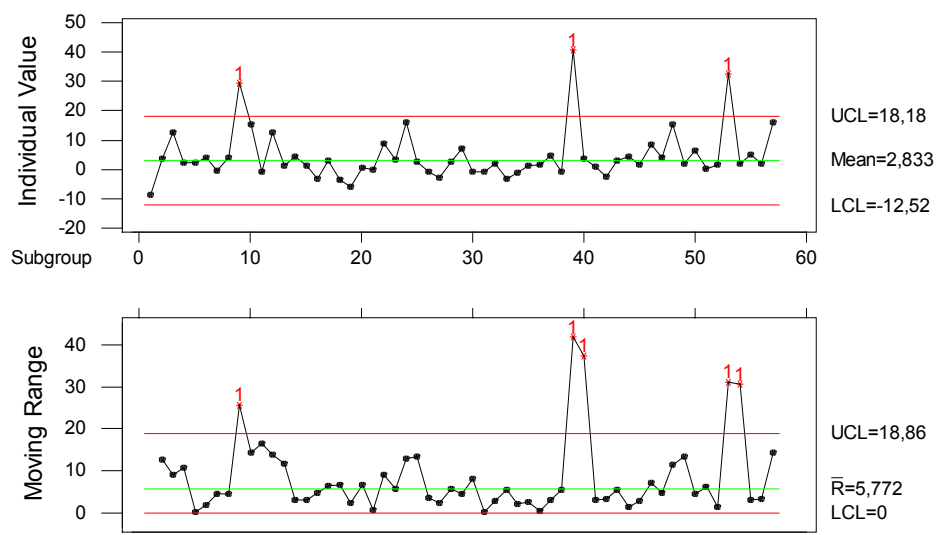
**I/MR for Z3R\_1,5**  
Test Results for I Chart

**Carta de Controle para Z3 MNH 1,5**



**I/MR for Z3R\_3,0**  
TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
Test Failed at points: 9 39 53

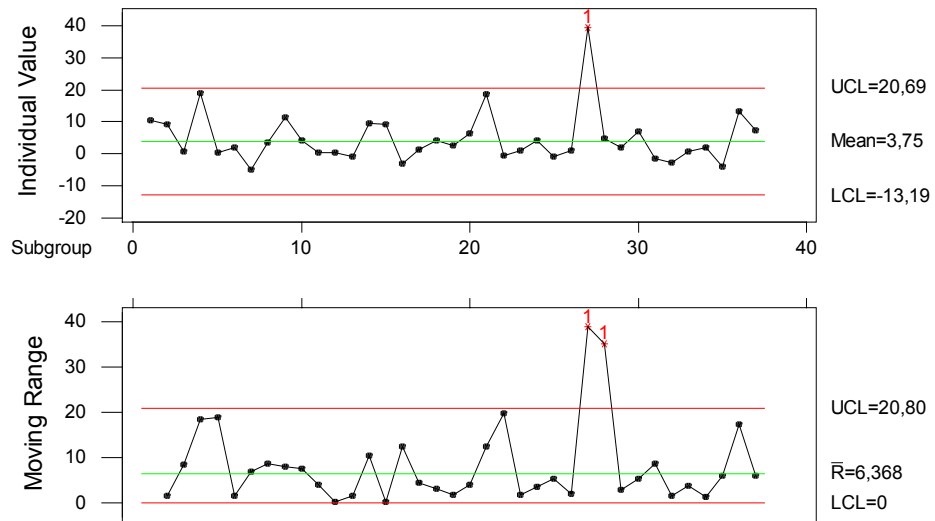
**Carta de Controle para Z3 MNH 3**



**I/MR for Z3R\_16,0**

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
 Test Failed at points: 27

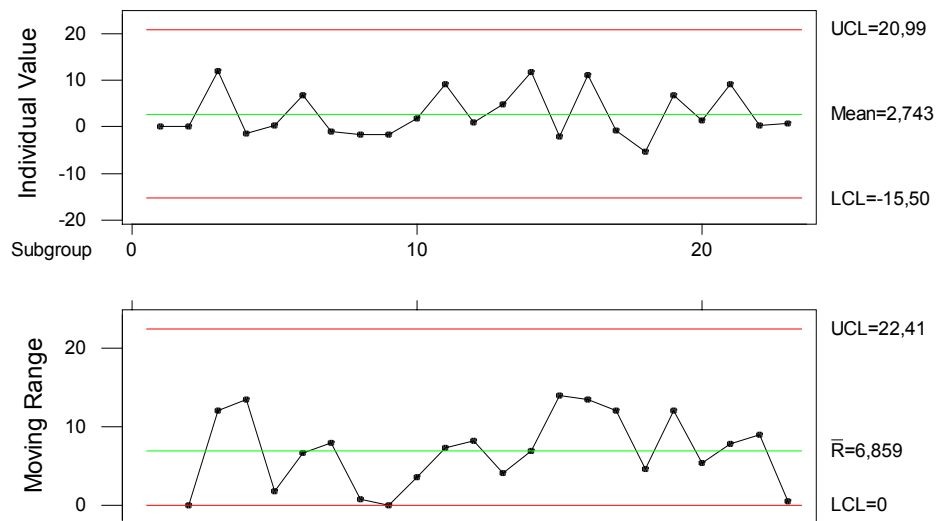
**Carta de Controle para Z3 MNH 16**



**I/MR for Z3R\_30,0**

Test Results for I Chart

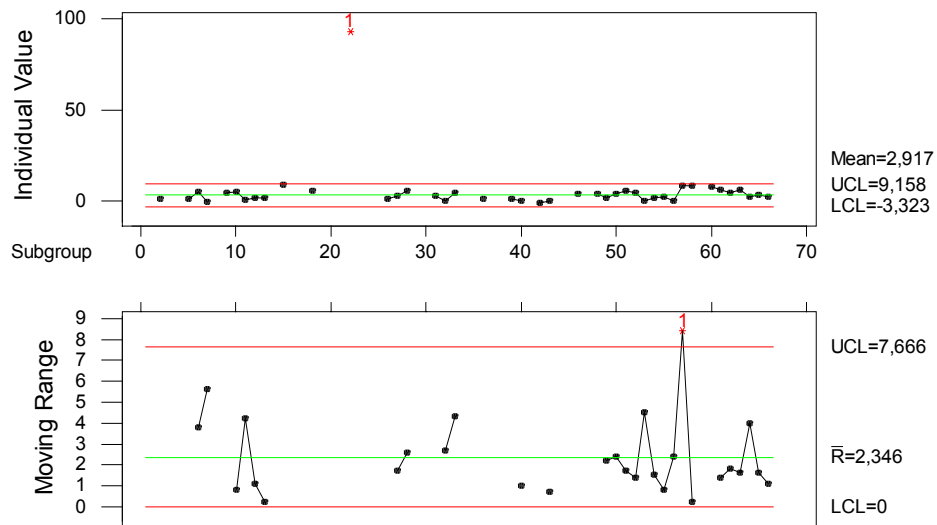
**Carta de Controle para Z3 MNH 30**



### I/MR for Z2R\_0,0

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
Test Failed at points: 22

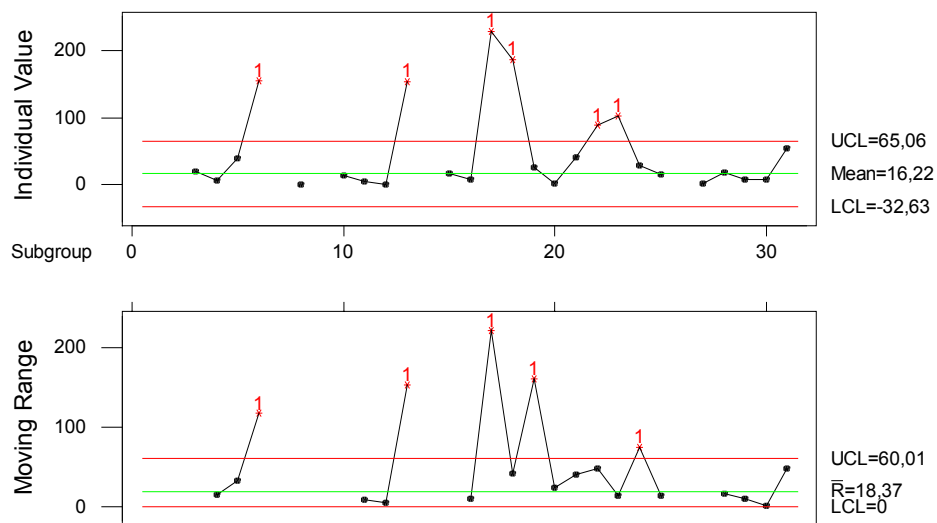
#### Carta de Controle para Z2 MNH 0



### I/MR for Z2R\_1,5

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
Test Failed at points: 6 13 17 18 22 23

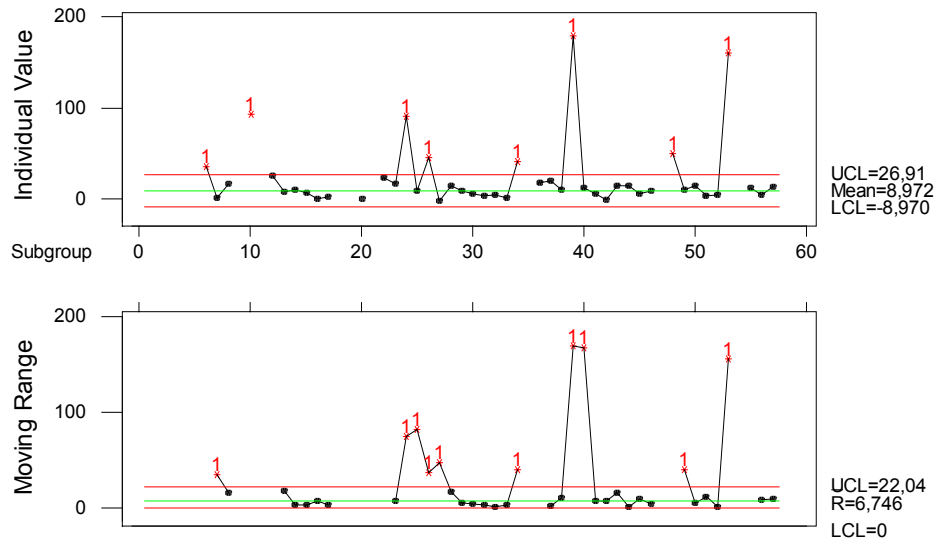
#### Carta de Controle para Z2 MNH 1,5



**I/MR for Z2R\_3,0**

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
 Test Failed at points: 6 10 24 26 34 39 48 53

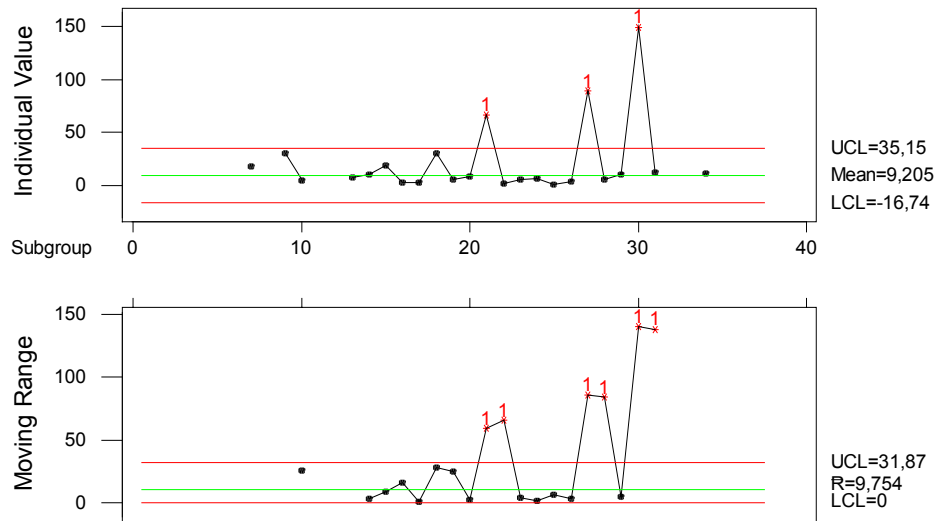
**Carta de Controle para Z2 MNH 3**



**I/MR for Z2R\_16,0**

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
 Test Failed at points: 21 27 30

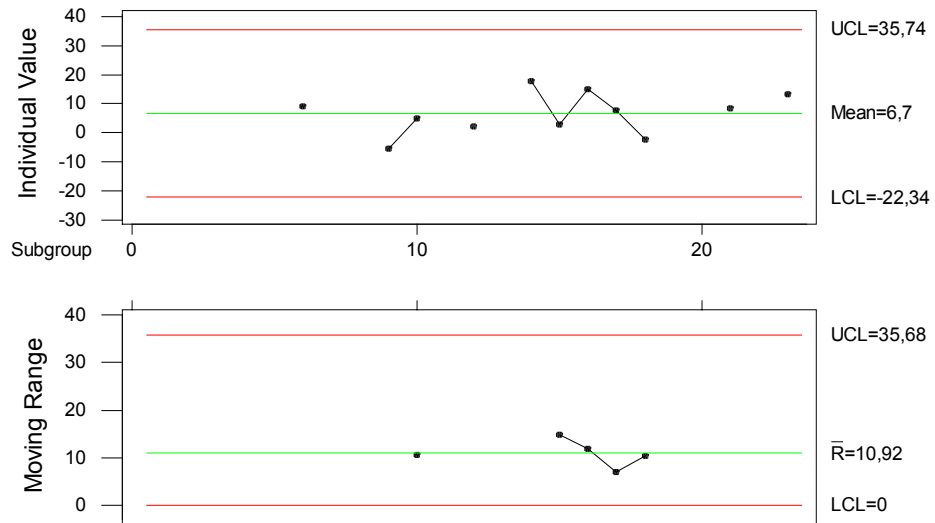
**Carta de Controle para Z2 MNH 16**



**I/MR for Z2R\_30,0**

Test Results for I Chart  
 Test Results for MR Chart

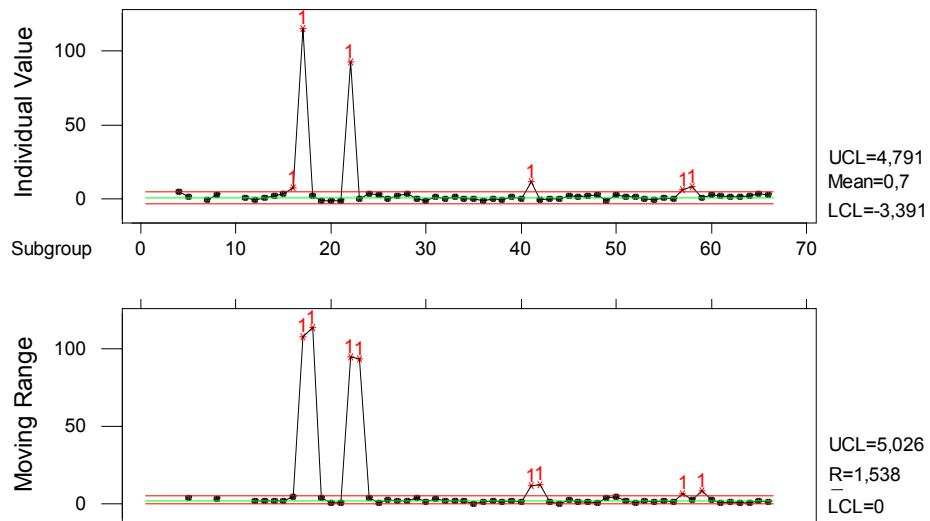
**Carta de Controle para Z2 MNH 30**



**I/MR for Z4R\_0,0**

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
 Test Failed at points: 16 17 22 41 57 58

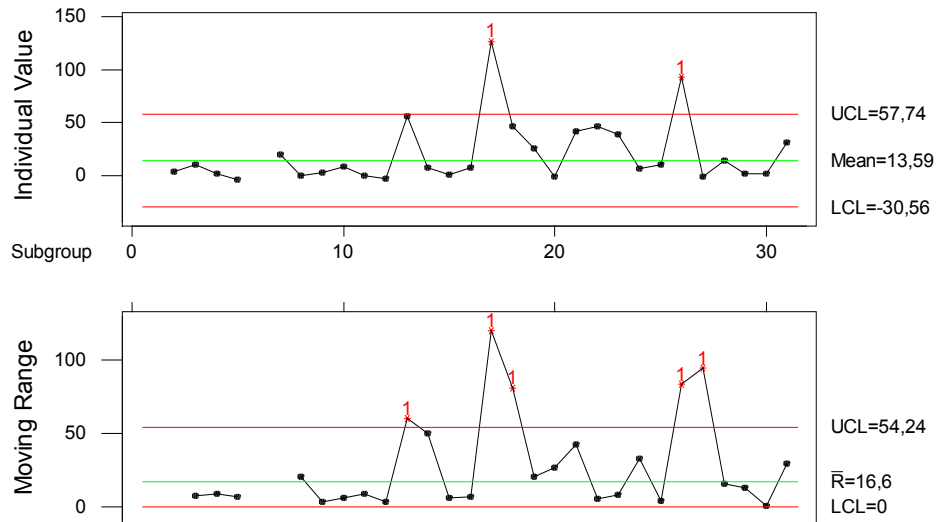
**Carta de Controle para Z4 MNH 0**



**I/MR for Z4R\_1,5**

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
 Test Failed at points: 17 26

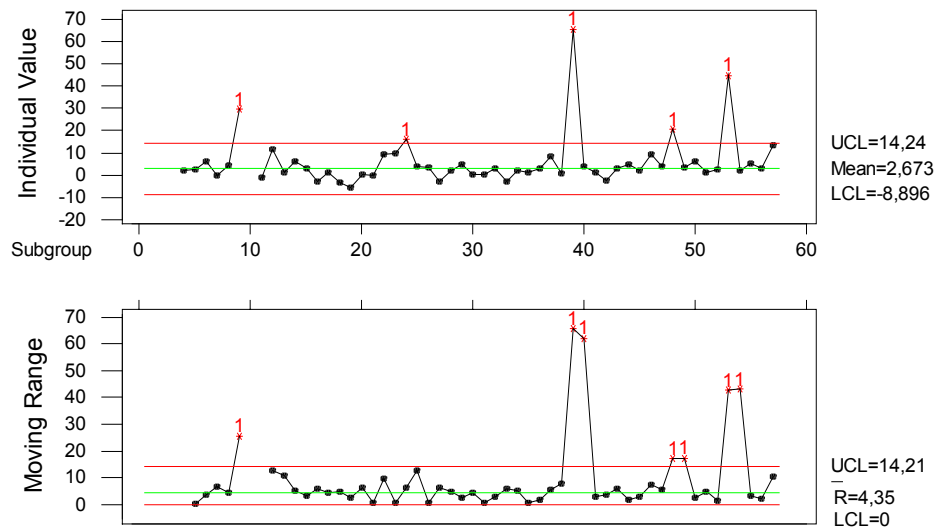
**Carta de Controle para Z4 MNH 1,5**



**I/MR for Z4R\_3,0**

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
 Test Failed at points: 9 24 39 48 53

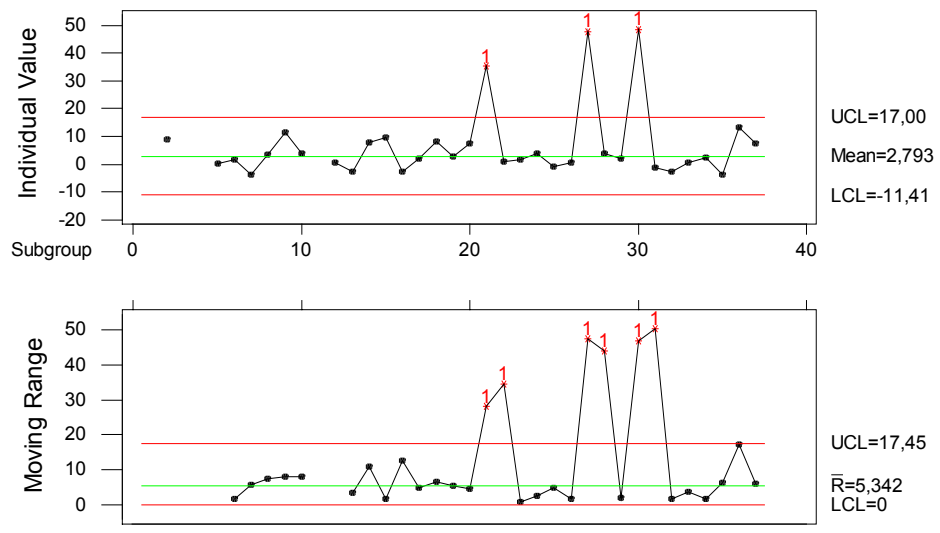
**Carta de Controle para Z4 MNH 3**



### I/MR for Z4R\_16,0

TEST 1. One point more than 3,00 sigmas from center line.  
Test Failed at points: 21 27 30

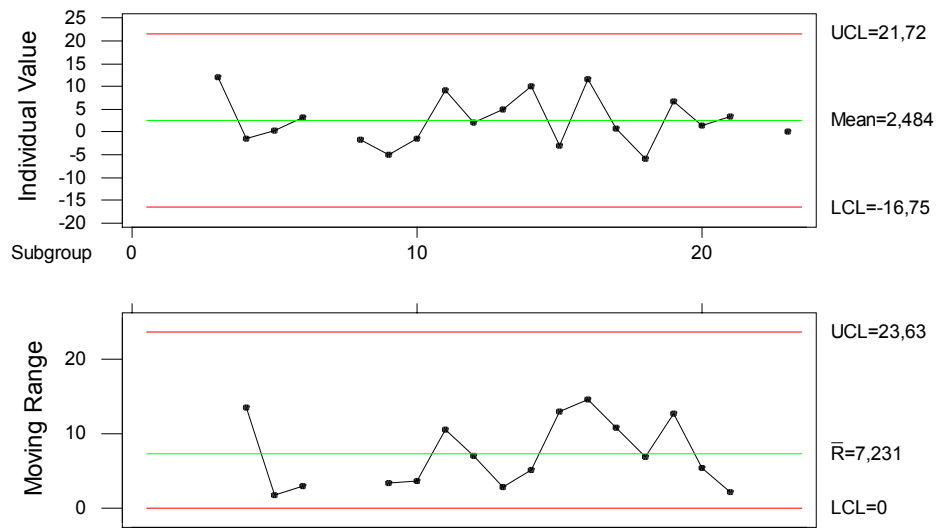
#### Carta de Controle para Z4 MNH 16



### I/MR for Z4R\_30,0

Test Results for I Chart

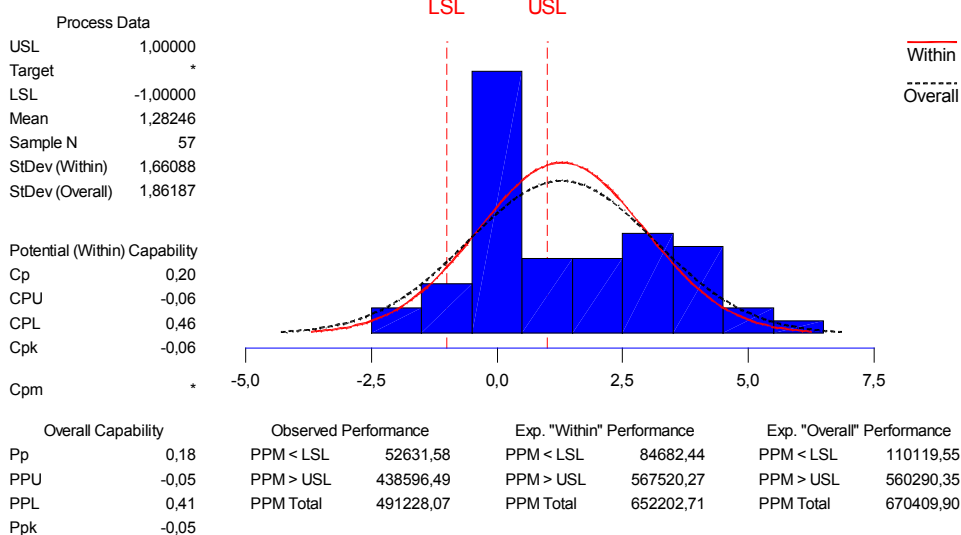
#### Carta de Controle para Z4 MNH 30



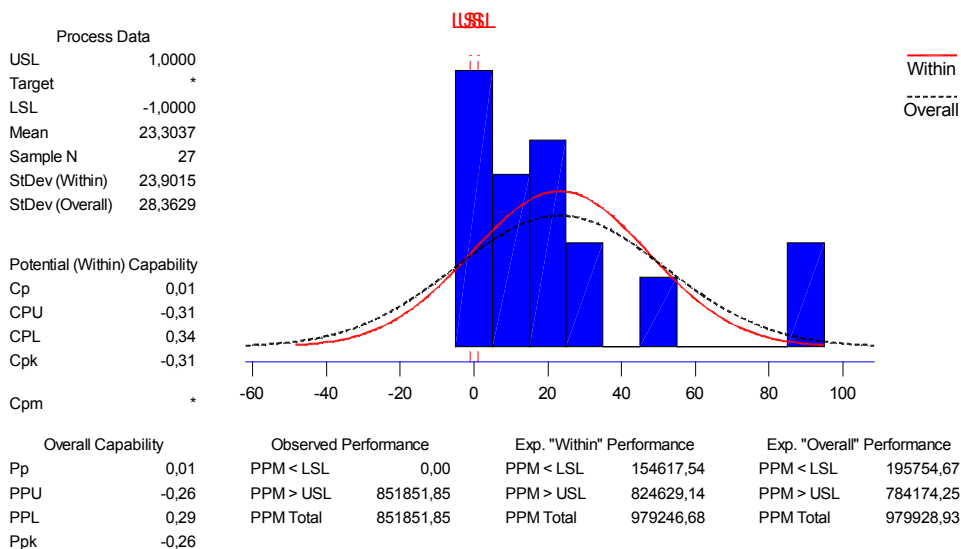
## ANEXO 5

### Histogramas de Análise de Capacidade por Processo

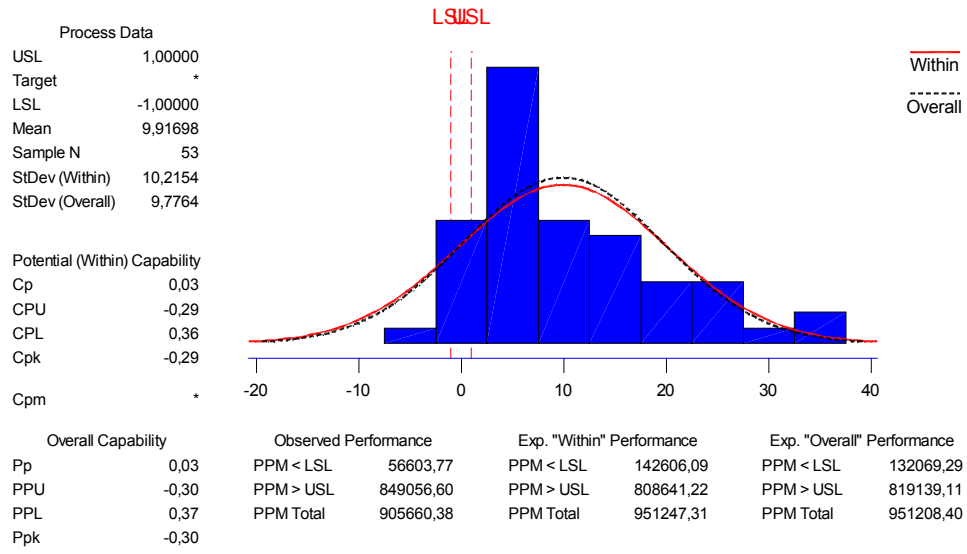
#### Análise de Capacidade para Z1 MNH 0



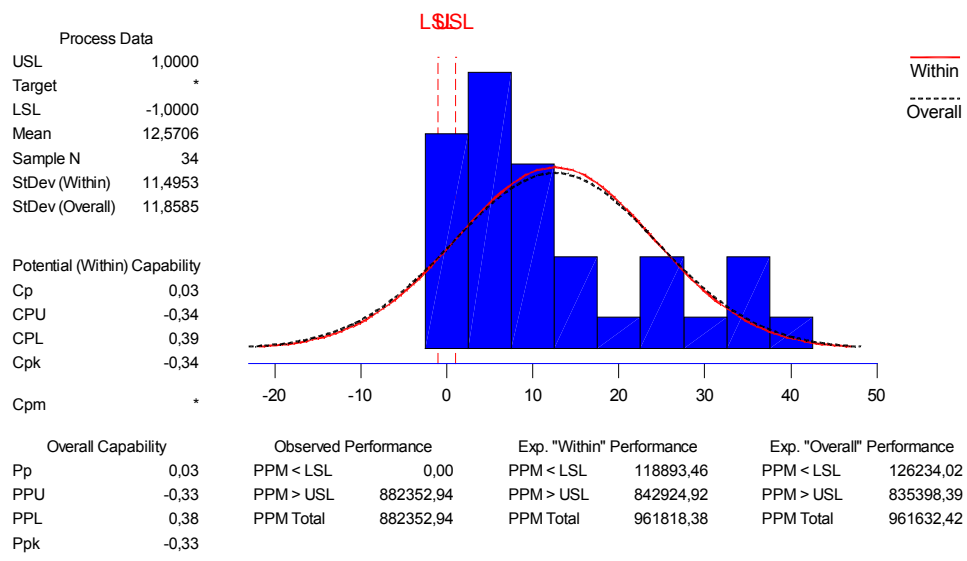
#### Análise de Capacidade para Z1 MNH 1,5



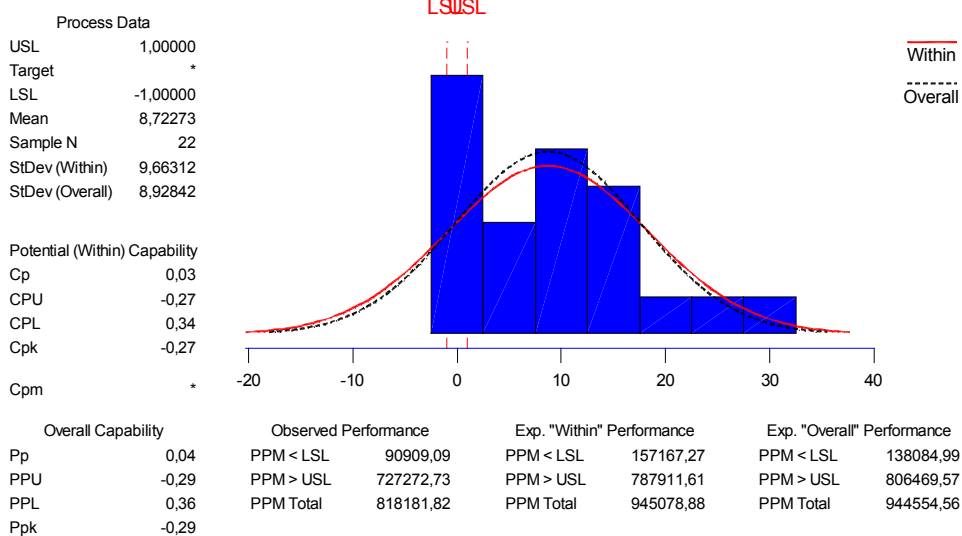
### Análise de Capacidade para Z1 MNH 3



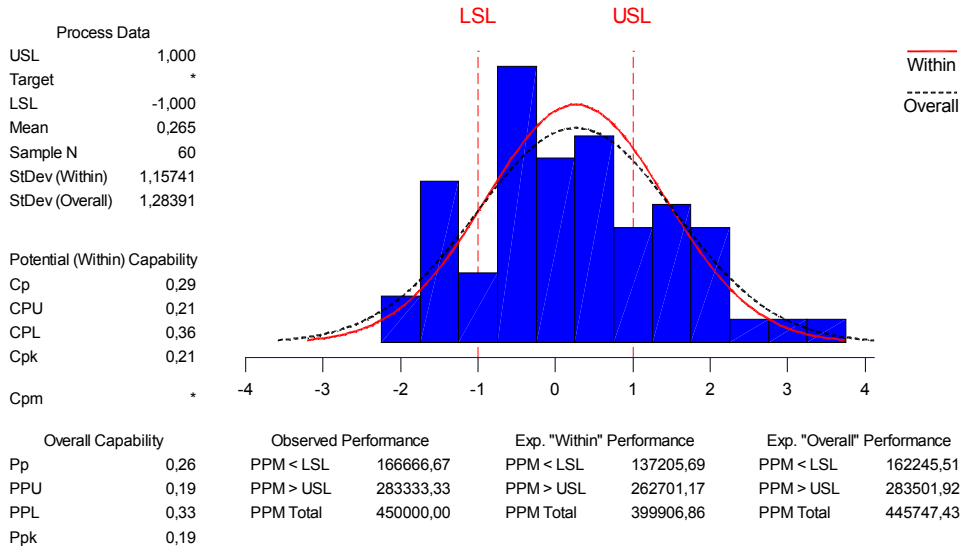
### Análise de Capacidade para Z1 MNH 16



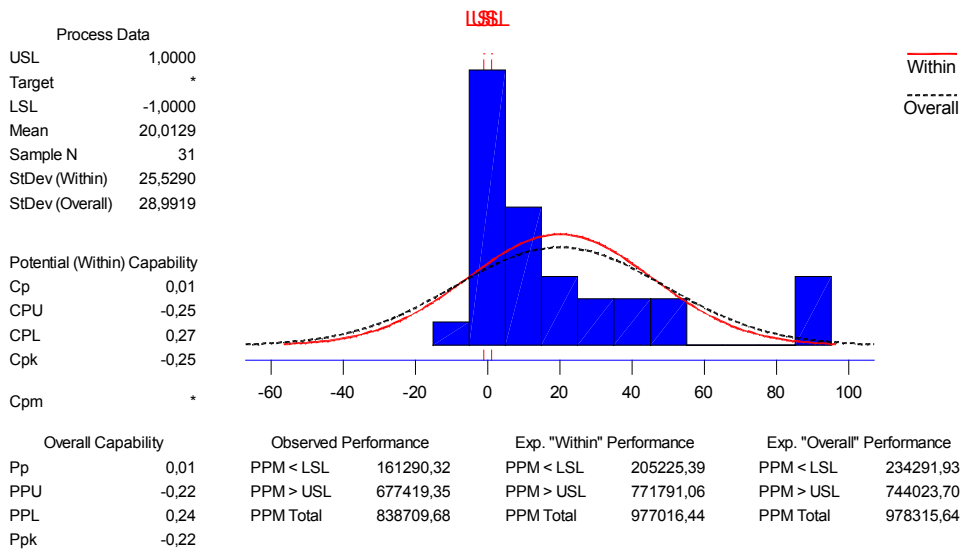
### Análise de Capacidade para Z1 MNH 30



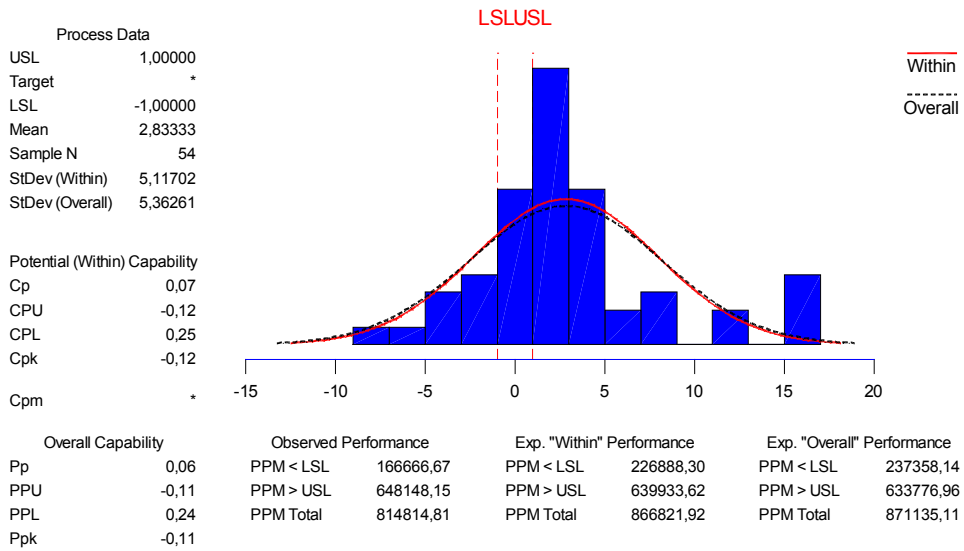
### Análise de Capacidade para Z3 MNH 0



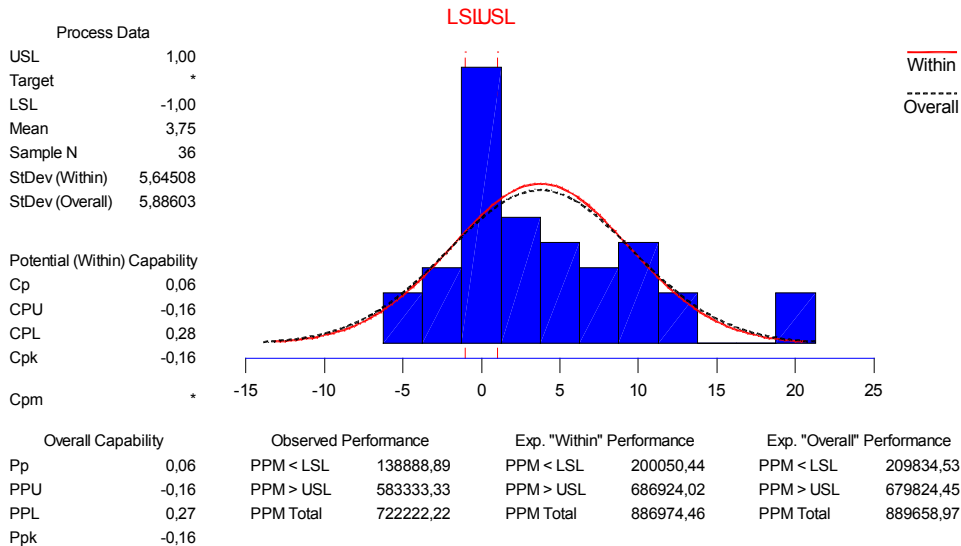
### Análise de Capacidade para Z3 MNH 1,5



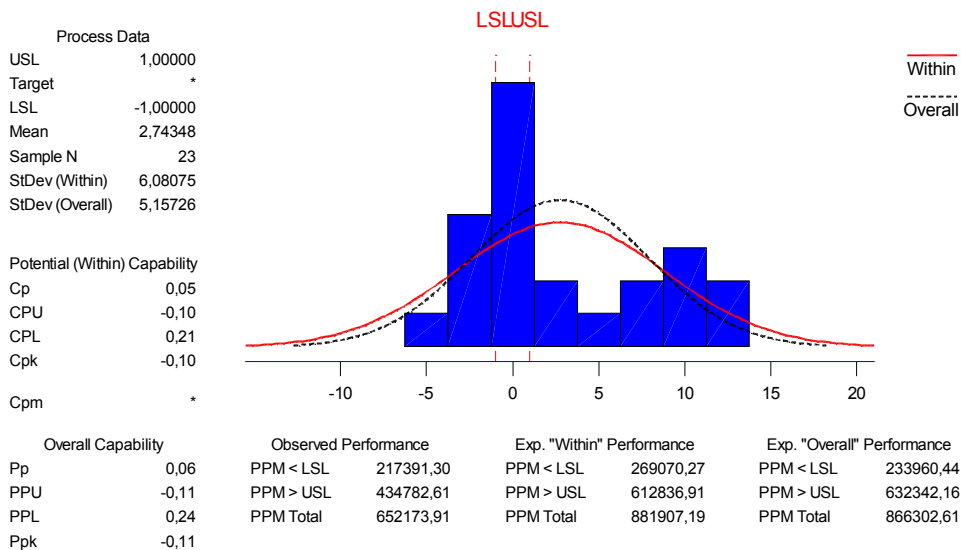
### Análise de Capacidade para Z3 MNH 3



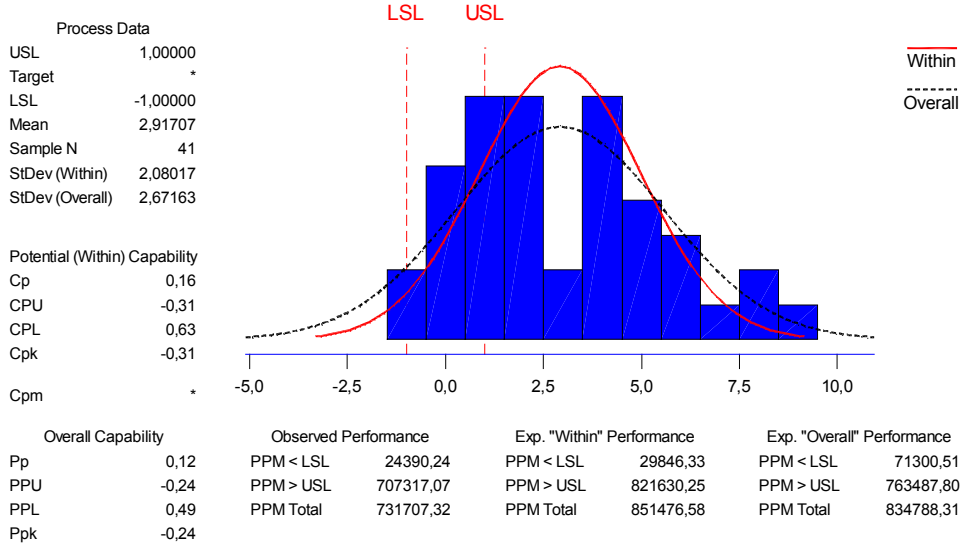
### Análise de Capacidade para Z3 MNH 16



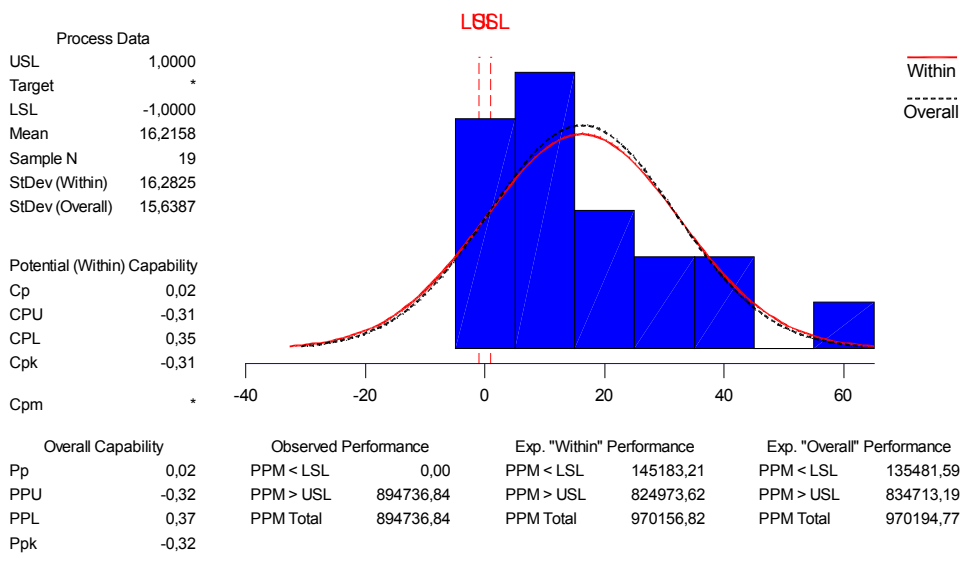
### Análise de Capacidade para Z3 MNH 30



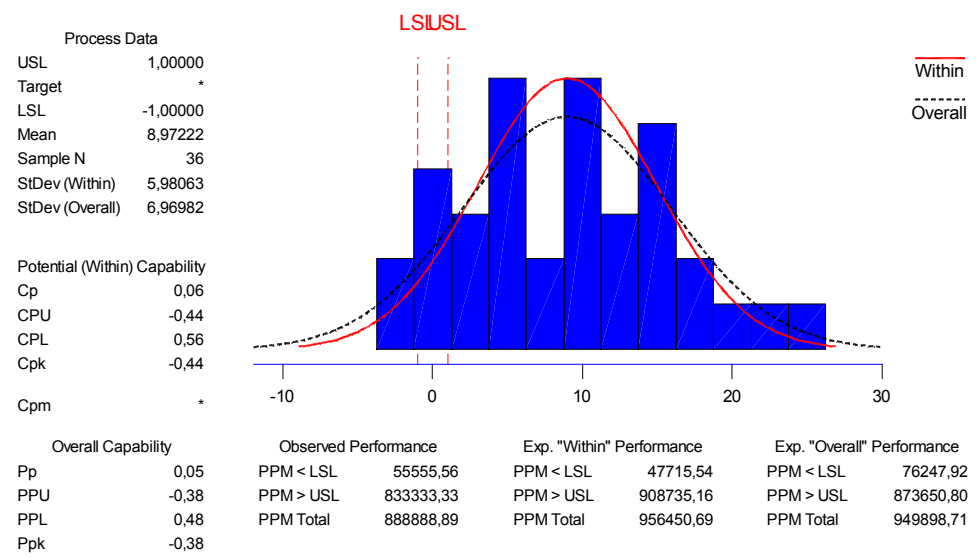
### Análise de Capacidade para Z2 MNH 0



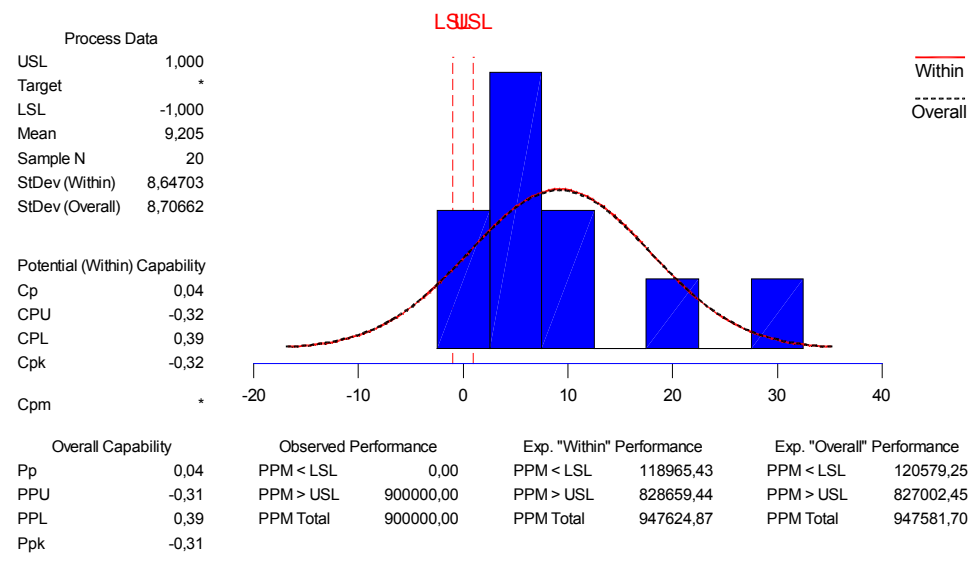
### Análise de Capacidade para Z2 MNH 1,5



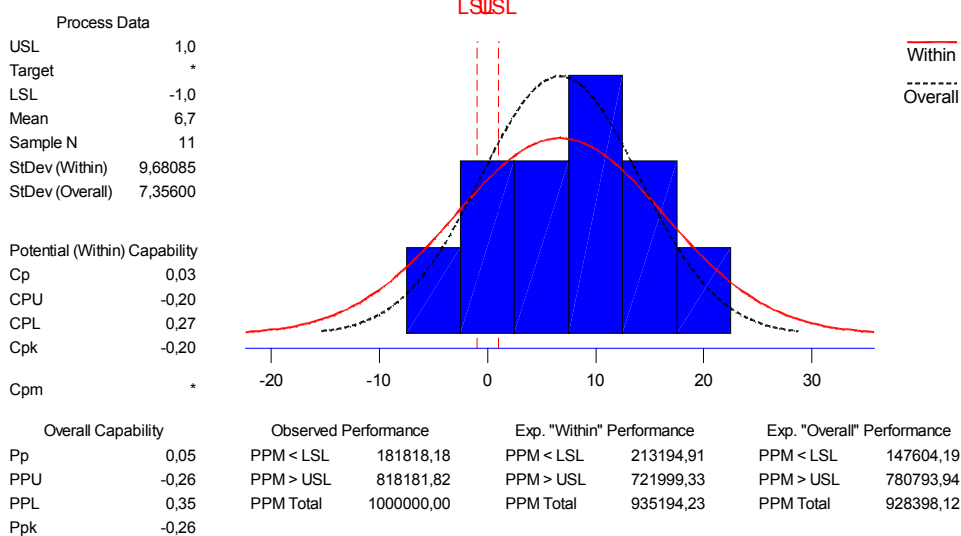
### Análise de Capacidade para Z2 MNH 3



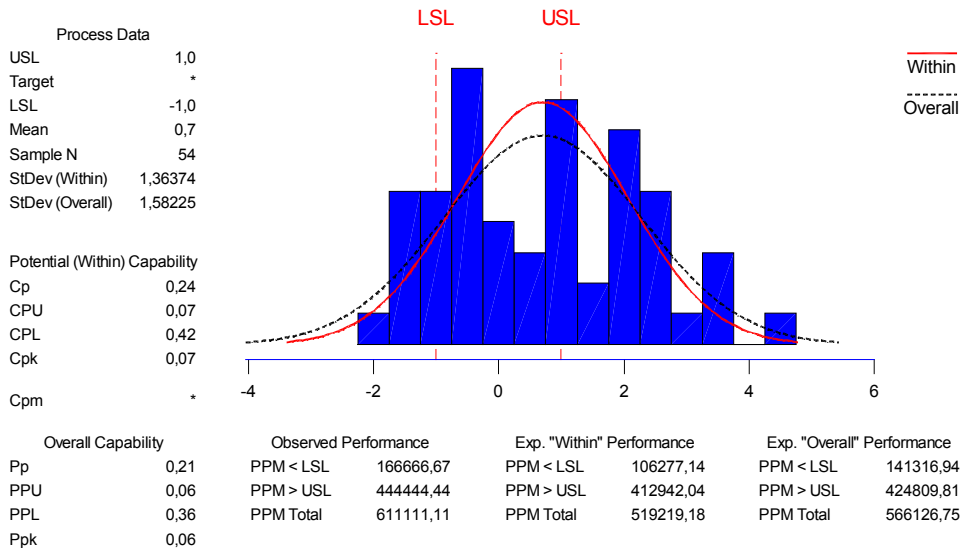
### Análise de Capacidade para Z2 MNH 16



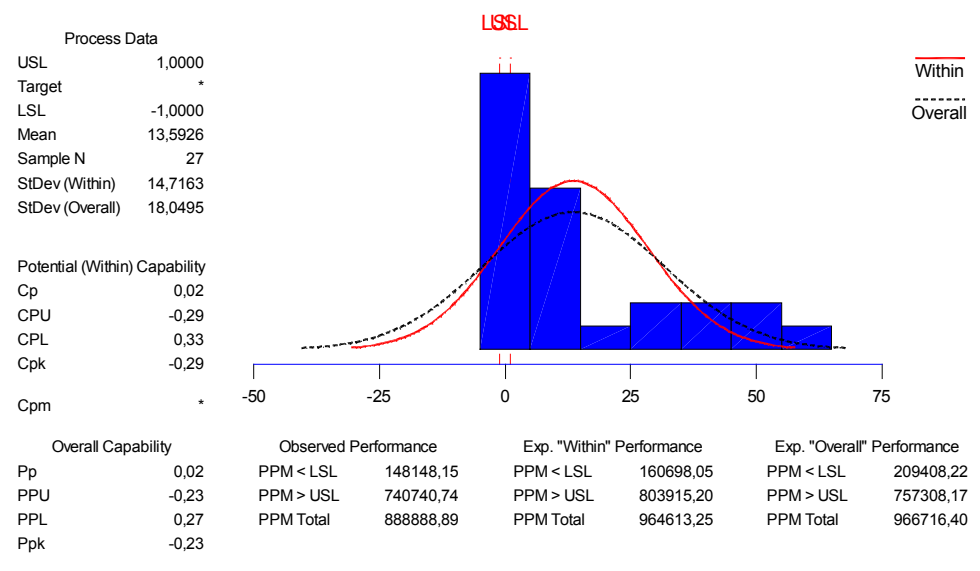
### Análise de Capacidade para Z2 MNH 30



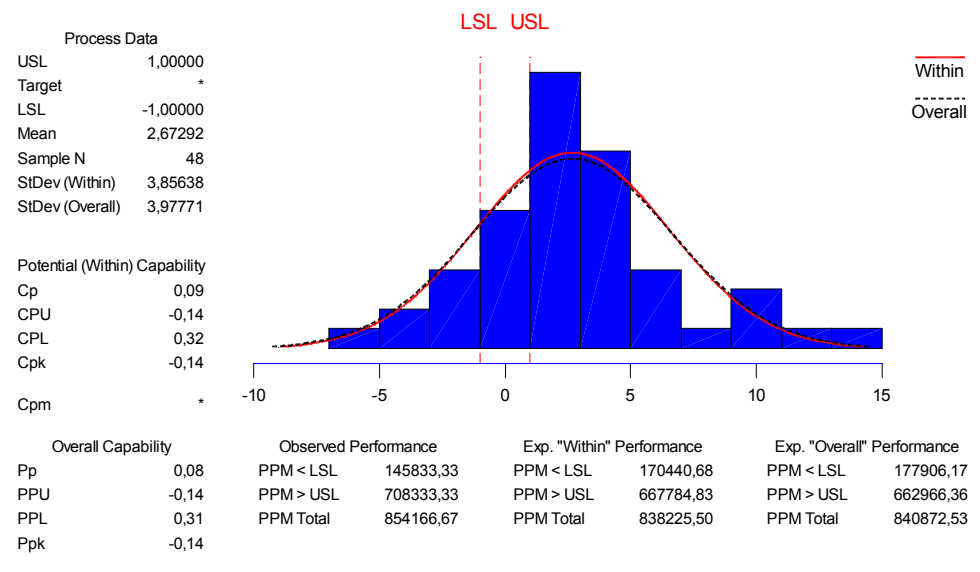
### Análise de Capacidade para Z4 MNH 0



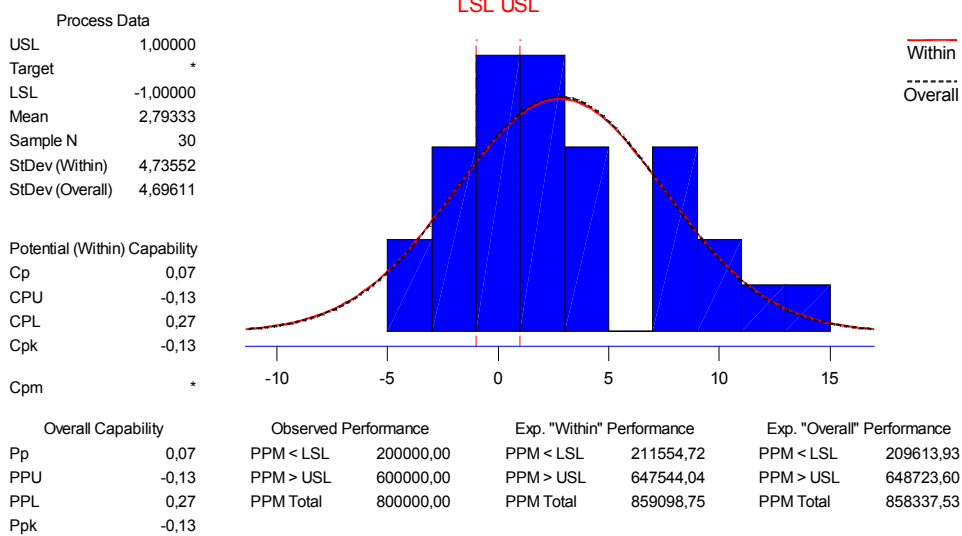
### Análise de Capacidade para Z4 MNH 1,5



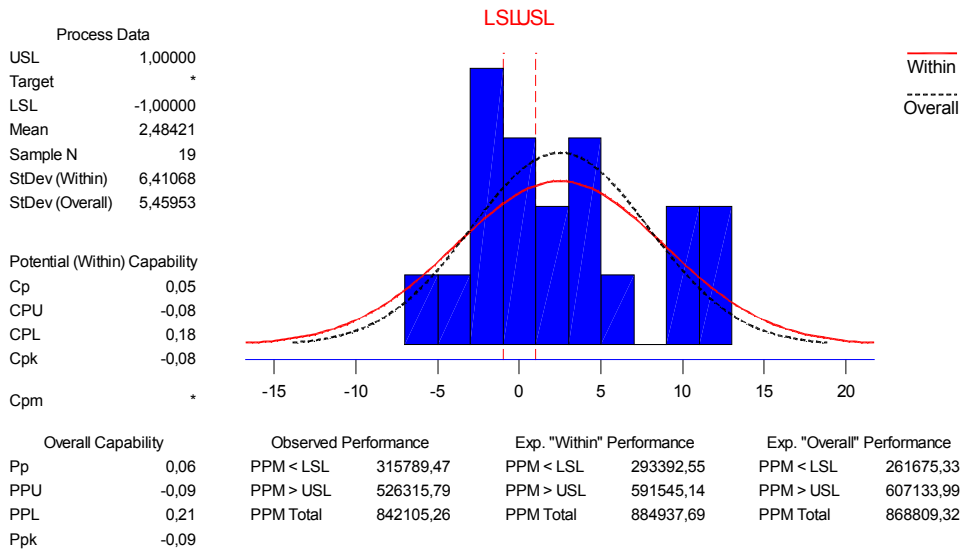
### Análise de Capacidade para Z4 MNH 3



### Análise de Capacidade para Z4 MNH 16

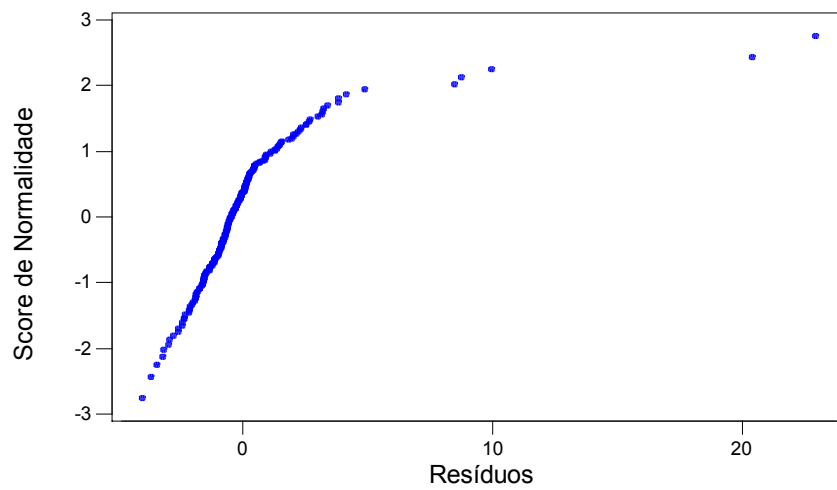


### Análise de Capacidade para Z4 MNH 30



## ANEXO 6

## Gráfico de Probabilidade Normal dos Resíduos para Z3



## ANEXO 7

### Planilhas Balanço de Massas

| Bloco1       |                          | 204233             | 775               | 204238             | 777               |
|--------------|--------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|              |                          | 100ku/ lento/ 400L | 100ku/ alto/ 400L | 70ku/ lento/ 200L  | 70ku/ alto/ 200L  |
| Prédispersão | Massa prevista           | 169,8              | 175,0             | 96,7               | 101,2             |
|              | Massa medida             | 168,6              | 172,4             | 95,8               | 99,8              |
|              | %NV previsto             | 70,5               | 70,5              | 61,9               | 61,9              |
|              | %NV medido               | 70,7               | 72,3              | 61,9               | 63,0              |
| Dispersão    | Massa prevista corrigida | 192,6              | 211,2             | 117,4              | 122,2             |
|              | Massa medida             | 180,6              | 204,6             | 114,6              | 118,4             |
|              | %NV previsto corrigido   | 65,4               | 62,4              | 53,4               | 54,3              |
|              | %NV medido               | 70,0               | 64,1              | <b>56,0</b>        | 56,1              |
|              | %NV se perda de solvente | 69,7               | 64,4              | <b>54,7</b>        | 56,0              |
| Completagem  | Massa prevista corrigida | 362,8              | 377,4             | 184,3              | 190,7             |
|              | Massa medida             | 364,0              | 377,4             | 184,0              | 190,2             |
|              | %NV previsto corrigido   | 54,2               | 53,8              | 53,9               | 54,0              |
|              | %NV medido               | 54,2               | 55,2              | 53,9               | 55,2              |
| Bloco2       |                          | 204232             | 776               | 204244             | 204239            |
|              |                          | 70ku/ lento/ 400L  | 70ku/ alto/ 400L  | 100ku/ lento/ 200L | 100ku/ alto/ 200L |
| Prédispersão | Massa prevista           | 193,4              | 199,2             | 84,9               | 84,9              |
|              | Massa medida             | 191,8              | 197,2             | 83,0               | 82,4              |
|              | %NV previsto             | 61,9               | 61,9              | 70,5               | 70,5              |
|              | %NV medido               | 61,3               | 61,4              | 69,9               | 70,5              |
| Dispersão    | Massa prevista corrigida | 224,8              | 233,8             | 104,6              | 104,0             |
|              | Massa medida             | 212,8              | 226,8             | 104,4              | 100,8             |
|              | %NV previsto corrigido   | 55,3               | 54,8              | 58,7               | 59,1              |
|              | %NV medido               | 58,0               | 56,6              | <b>62,2</b>        | 62,0              |
|              | %NV se perda de solvente | 58,4               | 56,5              | <b>58,8</b>        | 61,0              |
| Completagem  | Massa prevista corrigida | 362,2              | 377,6             | 185,8              | 182,2             |
|              | Massa medida             | 365,6              | 377,4             | 185,6              | 182,2             |
|              | %NV previsto corrigido   | 53,5               | 53,1              | 53,9               | 53,6              |
|              | %NV medido               | 53,7               | 54,1              | 53,1               | 53,3              |
| Bloco3       |                          | 204230             | 204234            | 204242             | 204245            |
|              |                          | 100ku/ lento/ 400L | 100ku/ alto/ 400L | 70ku/ lento/ 200L  | 70ku/ alto/ 200L  |
| Prédispersão | Massa prevista           | 169,8              | 169,8             | 96,7               | 96,7              |
|              | Massa medida             | 168,8              | 168,8             | 96,8               | 96,0              |
|              | %NV previsto             | 70,5               | 70,5              | 61,9               | 61,9              |
|              | %NV medido               | 70,6               | 71,0              | 61,7               | 61,8              |
| Dispersão    | Massa prevista corrigida | 212,0              | 203,2             | 118,4              | 117,2             |
|              | Massa medida             | 203,4              | 195,0             | 114,6              | 114,6             |
|              | %NV previsto corrigido   | 59,4               | 62,3              | 53,3               | 53,5              |
|              | %NV medido               | 61,6               | 63,7              | 55,4               | 55,2              |
|              | %NV se perda de solvente | 61,9               | 64,9              | 55,1               | 54,7              |
| Completagem  | Massa prevista corrigida | 366,4              | 366,8             | 184,2              | 184,6             |
|              | Massa medida             | 365,6              | 366,6             | 184,0              | 185,8             |
|              | %NV previsto corrigido   | 53,4               | 53,1              | 53,6               | 53,3              |
|              | %NV medido               | 53,7               | 54,0              | 54,2               | 53,7              |
| Bloco4       |                          | 204231             | 204236            | 204240             | 204243            |
|              |                          | 70ku/ alto/ 400L   | 70ku/ lento/ 400L | 100ku/ lento/ 200L | 100ku/ alto/ 200L |
| Prédispersão | Massa prevista           | 193,4              | 193,6             | 84,9               | 84,9              |
|              | Massa medida             | 194,6              | 193,0             | 84,0               | 83,6              |
|              | %NV previsto             | 61,9               | 61,9              | 70,5               | 70,5              |
|              | %NV medido               | 62,0               | 62,0              | 70,8               | 71,3              |
| Dispersão    | Massa prevista corrigida | 229,4              | 223,8             | 100,0              | 105,2             |
|              | Massa medida             | 224,4              | 215,8             | 92,4               | 105,2             |
|              | %NV previsto corrigido   | 55,6               | 56,3              | 63,7               | 60,1              |
|              | %NV medido               | 55,4               | 57,8              | <b>66,4</b>        | 59,6              |
|              | %NV se perda de solvente | 56,9               | 58,4              | <b>69,0</b>        | 60,1              |
| Completagem  | Massa prevista corrigida | 372,4              | 367,6             | 179,4              | 186,6             |
|              | Massa medida             | 371,8              | 367,2             | 178,2              | 186,8             |
|              | %NV previsto corrigido   | 52,3               | 53,1              | 53,8               | 52,4              |
|              | %NV medido               | 53,9               | 53,1              | 54,2               | 53,7              |

## ANEXO 8

## Gráficos e Análises do DOE para outras respostas

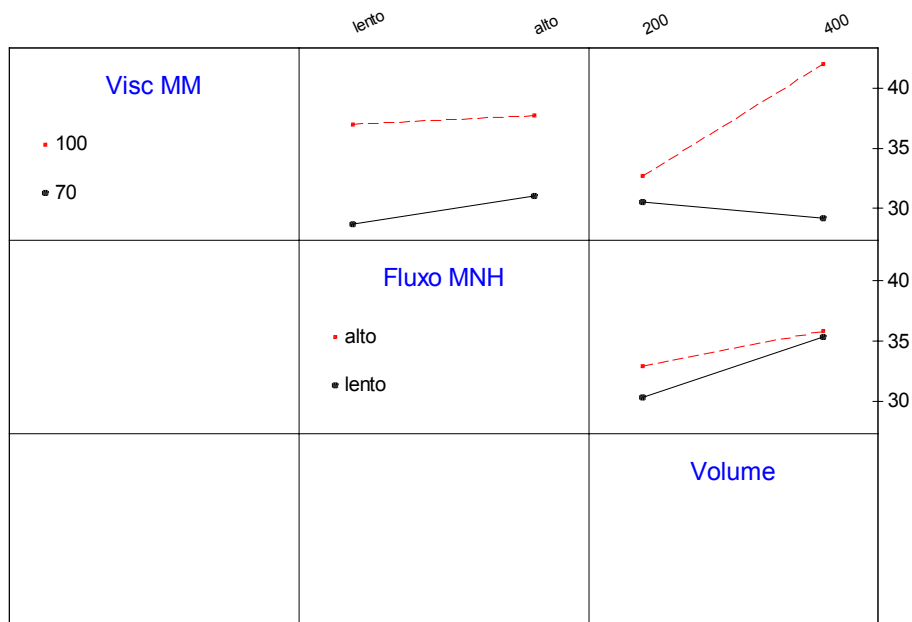
## Temperatura da Pré-dispersão

| Fractional Factorial Fit: Temp PD versus Visc MM; Fluxo MNH; Volume |         |               |         |       |              |  |
|---|---------|---------------|---------|-------|--------------|--|
| Estimated Effects and Coefficients for Temp (coded units)           |         |               |         |       |              |  |
| Term  | Effect  | Coef          | SE Coef | T     | P            |  |
| Constant  |         | 33,6250       | 0,5583  | 60,23 | 0,000        |  |
| Block 1   |         | 0,1500        | 0,9670  | 0,16  | 0,882        |  |
| 2   |         | 0,7000        | 0,9670  | 0,72  | 0,496        |  |
| 3   |         | 1,0000        | 0,9670  | 1,03  | 0,341        |  |
| <b>Visc MM</b>  | 7,5250  | <b>3,7625</b> | 0,5583  | 6,74  | <b>0,001</b> |  |
| Fluxo MN  | 1,5500  | 0,7750        | 0,5583  | 1,39  | 0,214        |  |
| <b>Volume</b>   | 3,9750  | <b>1,9875</b> | 0,5583  | 3,56  | <b>0,012</b> |  |
| Visc MM*Fluxo MN  | -0,8250 | -0,4125       | 0,5583  | -0,74 | 0,488        |  |
| <b>Visc MM*Volume</b>   | 5,3500  | <b>2,6750</b> | 0,5583  | 4,79  | <b>0,003</b> |  |
| Fluxo MN*Volume   | -1,0750 | -0,5375       | 0,5583  | -0,96 | 0,373        |  |

| Analysis of Variance for Temp (coded units) |    |        |        |        |       |       |
|---|----|--------|--------|--------|-------|-------|
| Source                                      | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F     | P     |
| Blocks                                      | 3  | 19,74  | 19,74  | 6,580  | 1,32  | 0,352 |
| Main Effects                                | 3  | 299,31 | 299,31 | 99,772 | 20,01 | 0,002 |
| 2-Way Interactions                          | 3  | 121,84 | 121,84 | 40,612 | 8,14  | 0,015 |
| Residual Error                              | 6  | 29,92  | 29,92  | 4,987  |       |       |
| Total                                       | 15 | 470,81 |        |        |       |       |

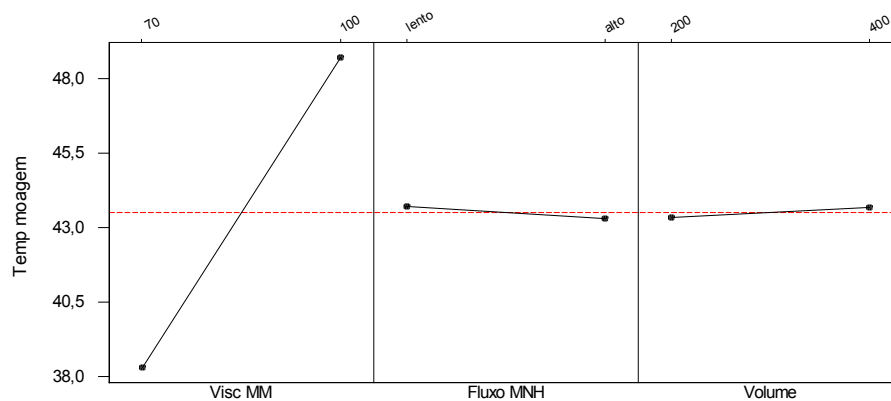
Interaction Plot (data means) for Temp PD



## Temperatura da Massa de Moagem

| <b>Fractional Factorial Fit: Temp moagem versus Visc MM; Fluxo MNH; Volume</b> |        |              |         |         |              |       |
|--|--------|--------------|---------|---------|--------------|-------|
| Estimated Effects and Coefficients for Temp (coded units)                      |        |              |         |         |              |       |
| Term   | Effect | Coef         | SE Coef | T       | P            |       |
| Constant   |        | 43,506       | 0,5141  | 84,62   | 0,000        |       |
| Block 1  |        | 1,094        | 0,8905  | 1,23    | 0,265        |       |
| 2  |        | 0,794        | 0,8905  | 0,89    | 0,407        |       |
| 3  |        | -6,581       | 0,8905  | -7,39   | 0,000        |       |
| <b>Visc MM</b>   | 10,388 | <b>5,194</b> | 0,5141  | 10,10   | <b>0,000</b> |       |
| Fluxo MN   | -0,388 | -0,194       | 0,5141  | -0,38   | 0,719        |       |
| Volume   | 0,312  | 0,156        | 0,5141  | 0,30    | 0,771        |       |
| Visc MM*Fluxo MN   | 0,037  | 0,019        | 0,5141  | 0,04    | 0,972        |       |
| Visc MM*Volume   | -1,612 | -0,806       | 0,5141  | -1,57   | 0,168        |       |
| Fluxo MN*Volume  | -0,737 | -0,369       | 0,5141  | -0,72   | 0,500        |       |
| Analysis of Variance for Temp (coded units)                                    |        |              |         |         |              |       |
| Source   | DF     | Seq SS       | Adj SS  | Adj MS  | F            | P     |
| Blocks   | 3      | 268,68       | 268,68  | 89,561  | 21,18        | 0,001 |
| Main Effects   | 3      | 432,59       | 432,59  | 144,197 | 34,10        | 0,000 |
| 2-Way Interactions   | 3      | 12,58        | 12,58   | 4,194   | 0,99         | 0,458 |
| Residual Error   | 6      | 25,37        | 25,37   | 4,229   |              |       |
| Total  | 15     | 739,23       |         |         |              |       |

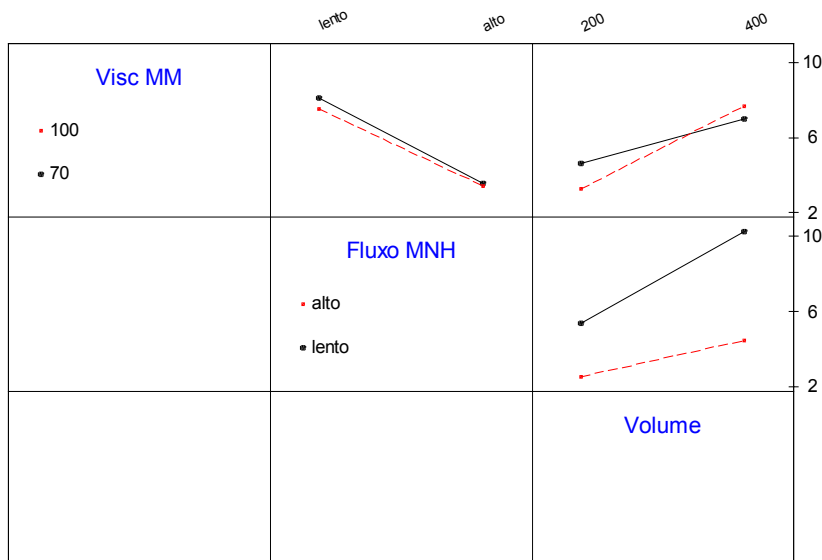
Main Effects Plot (data means) for Temp moagem



## Tempo de Moinho ou Moagem

| <b>Fractional Factorial Fit: Tempo MHN versus Visc MM; Fluxo MNH; Volume</b> |        |               |         |        |              |       |
|--|--------|---------------|---------|--------|--------------|-------|
| Estimated Effects and Coefficients for Tempo (coded units)                   |        |               |         |        |              |       |
| Term   | Effect | Coef          | SE Coef | T      | P            |       |
| Constant   |        | 5,664         | 0,2694  | 21,02  | 0,000        |       |
| Block 1  |        | 0,223         | 0,4667  | 0,48   | 0,650        |       |
| 2  |        | -0,499        | 0,4667  | -1,07  | 0,326        |       |
| 3  |        | 0,606         | 0,4667  | 1,30   | 0,242        |       |
| Visc MM  | -0,351 | -0,176        | 0,2694  | -0,65  | 0,539        |       |
| <b>Fluxo MN</b>  | -4,326 | <b>-2,163</b> | 0,2694  | -8,03  | <b>0,000</b> |       |
| <b>Volume</b>  | 3,406  | <b>1,703</b>  | 0,2694  | 6,32   | <b>0,001</b> |       |
| Visc MM*Fluxo MN   | 0,224  | 0,112         | 0,2694  | 0,42   | 0,692        |       |
| Visc MM*Volume   | 1,016  | 0,508         | 0,2694  | 1,89   | 0,108        |       |
| <b>Fluxo MN*Volume</b>   | -1,469 | <b>-0,734</b> | 0,2694  | -2,73  | <b>0,034</b> |       |
| Analysis of Variance for Tempo (coded units)                                 |        |               |         |        |              |       |
| Source   | DF     | Seq SS        | Adj SS  | Adj MS | F            | P     |
| Blocks   | 3      | 3,098         | 3,098   | 1,033  | 0,89         | 0,499 |
| Main Effects   | 3      | 121,769       | 121,769 | 40,590 | 34,94        | 0,000 |
| 2-Way Interactions   | 3      | 12,960        | 12,960  | 4,320  | 3,72         | 0,080 |
| Residual Error   | 6      | 6,970         | 6,970   | 1,162  |              |       |
| Total  | 15     | 144,797       |         |        |              |       |

Interaction Plot (data means) for Tempo MHN



%NV Final

**Fractional Factorial Fit: NV final versus Visc MM; Fluxo MNH; Volume**  
 Estimated Effects and Coefficients for NV (coded units)

| Term                  | Effect  | Coef          | SE Coef | T      | P            |
|-----------------------|---------|---------------|---------|--------|--------------|
| Constant              |         | 53,9500       | 0,1498  | 360,08 | 0,000        |
| Block 1               |         | -0,2500       | 0,2595  | -0,96  | 0,373        |
| 2                     |         | 0,3250        | 0,2595  | 1,25   | 0,257        |
| 3                     |         | 0,1000        | 0,2595  | 0,39   | 0,713        |
| Visc MM               | -0,0500 | -0,0250       | 0,1498  | -0,17  | 0,873        |
| Fluxo MN              | 0,3750  | 0,1875        | 0,1498  | 1,25   | 0,257        |
| Volume                | 0,0750  | 0,0375        | 0,1498  | 0,25   | 0,811        |
| Visc MM*Fluxo MN      | -0,1250 | -0,0625       | 0,1498  | -0,42  | 0,691        |
| <b>Visc MM*Volume</b> | 0,6250  | <b>0,3125</b> | 0,1498  | 2,09   | <b>0,082</b> |
| Fluxo MN*Volume       | 0,2500  | 0,1250        | 0,1498  | 0,83   | 0,436        |

Analysis of Variance for NV (coded units)

| Source             | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F    | P     |
|--------------------|----|--------|--------|--------|------|-------|
| Blocks             | 3  | 0,8350 | 0,8350 | 0,2783 | 0,77 | 0,549 |
| Main Effects       | 3  | 0,5950 | 0,5950 | 0,1983 | 0,55 | 0,665 |
| 2-Way Interactions | 3  | 1,8750 | 1,8750 | 0,6250 | 1,74 | 0,258 |
| Residual Error     | 6  | 2,1550 | 2,1550 | 0,3592 |      |       |
| Total              | 15 | 5,4600 |        |        |      |       |

Interaction Plot (data means) for NV final

