

**ELISABETE KOKO KUDO
MARIA CRISTINA PEREIRA PIMENTEL
SANDRO BARBOSA FERNANDES**

**APLICAÇÃO DA ESTATÍSTICA PARA ANÁLISE DE CAUSA RAIZ DE
DEFEITOS EM PRODUTOS DE MANUFATURA E SERVIÇO**

**São Paulo
2008**

**ELISABETE KIOKO KUDO
MARIA CRISTINA PEREIRA PIMENTEL
SANDRO BARBOSA FERNANDES**

**APLICAÇÃO DA ESTATÍSTICA PARA ANÁLISE DE CAUSA RAIZ DE
DEFEITOS EM PRODUTOS DE MANUFATURA E SERVIÇO**

**Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do certificado de
Especialista em Engenharia da
Qualidade e Gestão e Tecnologias da
Qualidade - MBA / USP**

**São Paulo
2008**

**ELISABETE KIOKO KUDO
MARIA CRISTINA PEREIRA PIMENTEL
SANDRO BARBOSA FERNANDES**

**APLICAÇÃO DA ESTATÍSTICA PARA ANÁLISE DE CAUSA RAIZ DE
DEFEITOS EM PRODUTOS DE MANUFATURA E SERVIÇO**

**Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do certificado de
Especialista em Engenharia da
Qualidade e Gestão e Tecnologias da
Qualidade - MBA / USP**

**Orientador: Prof. Dr. Adherbal
Caminada Netto**

**São Paulo
2008**

DEDICATÓRIA

Dedicamos esta monografia aos nossos
companheiros e familiares que nos
apoaram nesta iniciativa.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Adherbal Caminada Netto, pela orientação e apoio no desenvolvimento desta monografia.

Aos nossos colegas de trabalho, os quais tornaram possíveis as iniciativas descritas neste trabalho, sempre colaborando com seu conhecimento dos processos e levantamento de dados, mesmo quando para isso foram requeridas horas fora do expediente diário.

Ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pela oportunidade de especialização em Engenharia da Qualidade e em Gestão e Tecnologias da Qualidade.

E, em especial aos nossos pais, que de alguma forma contribuíram para estarmos aqui, se somos o que somos, devemos a eles.

... "ciência em lugar de empirismo; harmonia, em vez de discórdia; cooperação, não individualismo; rendimento máximo, em lugar de produção reduzida; desenvolvimento de cada homem, no sentido de alcançar maior eficiência e prosperidade".

(F. W. Taylor)

RESUMO

Abordagem de práticas da Qualidade fundamentadas na Estatística para análise de causa raiz de defeitos em produtos. Pretende-se mostrar o caráter universal da Qualidade e da Estatística, com a aplicação em áreas distintas e em subsidiárias locais de empresas multinacionais de países de origem diversas. Algumas categorias de produtos, como definidas na norma ABNT NBR ISO 9000:2005, serão abrangidas neste trabalho, reforçando o caráter genérico da Qualidade para serviços, informações, materiais, equipamentos e materiais processados. Procura-se também, mostrar a objetividade e a simplicidade da Estatística no contexto da melhoria contínua, tanto em análises descritivas quanto inferenciais. Como método de trabalho, foi utilizado o desenvolvimento de três casos reais pelos autores, em suas organizações, com o estudo da teoria para a elaboração e execução de um plano para tratamento da causa raiz de problemas respectivamente nas áreas de *software*, produtos para construção civil e produtos químicos. Ao final, conclui-se como as práticas da Qualidade com o uso da Estatística foram eficientes e eficazes na remoção de causas raízes de defeitos nos produtos em cada caso.

Palavras-chave: Qualidade, Estatística, causa raiz

ABSTRACT

A study of Quality practices based on Statistics to analyze the root causes of product defects. It aims to show the universal nature of Quality and Statistics and their application in diverse sectors and local subsidiaries of multinational corporations based in different countries. Some product categories, as defined in the norm ABNT NBR ISO 9000:2005, will be covered in this work, corroborating the generic nature of Quality in services, hardware, software and processed materials. The study also aims to demonstrate the objectiveness and simplicity of Statistics in continuously improving both descriptive and inferential analyses. The study method used three real-life cases carried out by the authors in their respective organizations to study the theory behind preparing and executing a plan for dealing with the root cause of defects in the areas of software, construction materials and chemicals. Finally, the study concludes by showing how Quality practices backed by Statistics proved efficient and effective in removing the root causes of the product defects in each case.

Keywords: Quality, Statistics, root cause

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-1 - Fluxograma do MASP	29
Figura 1-2 - Fluxograma do fechamento diário.....	38
Figura 1-3 - Diagrama de causa e efeito	43
Figura 2-1 - Aparato para o ensaio de deslizamento.....	53
Figura 2-2 - Indicação dos pontos para as medidas de posição das placas	54
Figura 2-3 - Modelo para coleta de dados.....	55
Figura 2-4 - Placa substrato padrão	56
Figura 2-5 - Presilhas	56
Figura 2-6 - Detalhes dos cordões	57
Figura 2-7 - Espaçadores	57
Figura 2-8 - Corpos de prova	58
Figura 2-9 - Massas padrão	58
Figura 2-10 - Leitura.....	58
Figura 2-11 - Placa na vertical.....	58
Figura 3-1 - Análise do Processo - Sólidos (%).....	76
Figura 3-2 - Análise do Processo - Densidade (g/ml).....	76
Figura 3-3 - Escopo do Processo	78
Figura 3-4 - Fatores, Entradas e Saídas do Processo	79

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 - Distribuição por grupos de chamados	31
Gráfico 1.2 - Índice de Discrepância do período mês 1 ao mês 4	34
Gráfico 1.3 - Distribuição por tipo de Discrepâncias.....	36
Gráfico 1.4 - Primeira tabulação por UNIDADES e estações.....	40
Gráfico 1.5 - Segunda tabulação por UNIDADES e estações.....	41
Gráfico 1.6 - Índice de Discrepância no período do mês 12 ao mês 15	46
Gráfico 2.1 - Teste de normalidade do laboratório A.....	60
Gráfico 2.2 - Teste de normalidade do laboratório B.....	61
Gráfico 2.3 - Histograma dos deslizamentos dos laboratórios A e B.....	62
Gráfico 3.1- EVOP - 1°, 2° e 3° Ensaio	82
Gráfico 3.2 - EVOP - 4° Ensaio	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Grupos de chamados do período do mês 1 ao mês 4.....	30
Tabela 1.2 - Índice de Discrepância do período mês 1 ao mês 4.....	34
Tabela 1.3 - Primeira tabulação por UNIDADES e estações.....	40
Tabela 1.4 - Segunda tabulação por UNIDADES e estações.....	41
Tabela 1.5 - Índice de Discrepância do período do mês 12 ao mês 15.....	46
Tabela 2-1 - Resultados do ensaio de deslizamento.....	59
Tabela 2-2 - Análise estatística descritiva dos deslizamentos (mm)	62
Tabela 3.1 - Dados Iniciais de Estudo.....	80
Tabela 3.2 – ANOVA.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Etapas do MASP x PDCA	29
Quadro 1.2 - Causas mais prováveis	44
Quadro 1.3 - Plano de ação	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
ASTM	<i>American Standard Technical Methods</i>
CMMI®	<i>Capability Maturity Model® Integration</i>
CS	Central de Serviços
DOE	<i>Design of Experiments</i>
EVOP	<i>Evolutionary Operations</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
IC	Item de Configuração
ITIL	<i>Information Technology Infrastructure Library</i>
MASP	Método de Análise e Solução de Problemas
NBR	Norma Brasileira
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PDCA	<i>Plan, Do, Act and Check</i>
SEI	<i>Software Engineering Institute</i>
SN1	Supporte Nível 1
SN2	Supporte Nível 2
SN3	Supporte Nível 3
TI	Tecnologia da Informação
TQC	<i>Total Quality Control</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Média da População
σ^2	Variância
x_{Barra}	Média Amostral
R	Amplitude
F_{crit}	F crítico
F_{calc}	F calculado
H_0	Hipótese Nula
H_1	Hipótese Alternativa
L	Resultado do ensaio de deslizamento
L_i	Leitura inicial da posição
L_f	Leitura final da posição
t	Teste t - Student
α	Erro tipo I , Falso Positivo
β	Erro tipo II , Falso Negativo
Σ	Somatório
α	Nível de Significância

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1 ESTUDO DE CASO 1 - SOFTWARE.....	21
1.1 OBJETIVO.....	22
1.2 REVISÃO DA LITERATURA.....	22
1.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ORGANIZAÇÕES.....	26
1.4 APLICAÇÃO.....	26
1.4.1 Caracterização dos Serviços.....	26
1.4.2 O Compromisso Cliente x Fornecedor.....	27
1.4.3 O Método Proposto.....	28
1.4.4 A Aplicação do Método.....	30
1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
2 ESTUDO DE CASO 2 - ARGAMASSA COLANTE.....	49
2.1 OBJETIVO.....	50
2.2 REVISÃO DA LITERATURA.....	51
2.3 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO.....	52
2.4 METODOLOGIA.....	53
2.4.1 Metodologia do Ensaio de Deslizamento.....	53
2.4.2 Materiais utilizados no ensaio.....	55
2.4.3 Aparelhagem.....	55
2.5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO ENSAIO.....	56
2.5.1 Execução do ensaio.....	56

2.5.2 Resultados.....	59
2.6 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS ESTATÍSTICOS.....	60
2.6.1 Teste <i>t</i> de Student.....	60
2.6.2 Análise descritiva.....	62
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
3 ESTUDO DE CASO 3 - SOLUÇÕES QUÍMICAS.....	66
3.1 OBJETIVO	67
3.2 REVISÃO DA LITERATURA	67
3.3 DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS (DOE).....	68
3.4 OPERAÇÃO EVOLUTIVA (EVOP)	72
3.5 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO	74
3.6 APLICAÇÃO	75
3.6.1 Definição do Problema	75
3.6.2 Análise preliminar do processo	75
3.6.3 O processo	77
3.6.4 Aplicando o EVOP	80
3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
4 CONCLUSÃO	85
5 RECOMENDAÇÕES	87
REFERÊNCIAS	89

INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é mostrar como as ferramentas, técnicas e métodos da Qualidade com o uso da Estatística são importantes para a análise das causas raízes de defeitos. Pretende-se evidenciar também, o aspecto universal da Qualidade através de exemplos tanto na área industrial quanto na de serviços.

Neste trabalho, a palavra "defeito" tem o significado estabelecido na norma ABNT NBR ISO 9000:2005 de "não atendimento a um requisito relacionado a um uso pretendido ou especificado". As "causas raízes", por sua vez, conotam aquelas que de fato motivam o defeito e, quando removidas, este é atenuado ou eliminado. Observa-se que a falta de uma análise causal metódica e sistemática induz ao tratamento apenas dos sintomas e a consequente recorrência do defeito.

Um dos grandes valores das práticas da Qualidade é permitir a distinção entre sintomas e defeitos. A Estatística, por ser em essência a observação organizada de fenômenos para conclusões com um grau de incerteza aceitável, é uma aliada poderosa. Se a "janela" pela qual o fenômeno é observado for ampla o suficiente para se perceber como este varia, a incerteza tende a ser pequena ou mesmo desprezível. Neste caso, a própria descrição do fenômeno pode tornar aparente as causas do defeito pesquisado. E, se esta "janela" for pequena, a inferência será o caminho para as conclusões com um grau de incerteza controlado.

A Inferência Estatística é uma das partes da Estatística. Esta é a parte da metodologia da Ciência que tem por objetivo a coleta, redução, análise e modelagem dos dados, a partir do que, finalmente, faz-se a inferência para uma população da qual os dados (a amostra) foram obtidos. Um aspecto importante de modelagem dos dados é fazer previsões, a partir das quais se podem tomar decisões. (BUSSAB, 2002, p. 1)

Como na citação acima, alguns autores combinam a Estatística Descritiva e a Estatística Inferencial em um mesmo conceito. Entretanto, neste trabalho, são consideradas como duas disciplinas distintas e complementares.

A Estatística Descritiva fornece técnicas que permitem analisar quantidades de dados através do uso de:

- ✓ tabelas;

- ✓ gráficos; e
- ✓ medidas de tendência e dispersão.

Consequentemente, a Estatística Descritiva é de grande importância pela sua eficiência e eficácia na summarização e na análise dos dados. Entretanto, deve-se considerar a existência do risco da informação original ser distorcida pela perda dos detalhes na utilização de descrições summarizadas.

Em paralelo, a Estatística Inferencial aplica-se a conclusões que extrapolam a descrição dos dados, convergindo para condições mais gerais. Neste caso, a Estatística Descritiva não é suficiente, sendo necessárias técnicas de maior complexidade. Por exemplo, a Estatística Inferencial é requerida quando se dispõe apenas de amostras de peças e precisa-se determinar a abrangência de um defeito. Neste caso, o primeiro desafio é inferir o quanto estas amostras são representativas das peças produzidas no período considerado.

Observa-se que a Estatística sempre trabalha com informações numéricas, mesmo que as primárias sejam de outra natureza. Por exemplo, nas pesquisas de satisfação, pode-se capturar a percepção do cliente através de uma escala de Likert com categorias do tipo:

- ✓ ruim;
- ✓ regular;
- ✓ bom; e
- ✓ ótimo.

Entretanto, estas informações derivam números, tais como a quantidade de clientes que optou por cada uma das categorias. Ou mesmo, a própria escala pode ser convertida através de uma correspondência numérica. Esta conversão permite gerar estatísticas descritivas, tais como a média e o desvio padrão respectivamente.

- ✓ 1 - ruim;
- ✓ 2 - regular;
- ✓ 3 - bom; e
- ✓ 4 - ótimo.

Este aspecto numérico da Estatística corrobora a afinidade com a Qualidade, pois a análise das causas raízes de defeitos requer objetividade e facilidade de comunicação das informações.

Uma vez contextualizada a Estatística na Qualidade, reflete-se sobre a importância de tratar as causas raízes de um defeito. Entende-se que o defeito impede o atendimento pleno aos requisitos do cliente e impacta a sua satisfação. A norma ABNT NBR ISO 9000:2005 também fornece dois conceitos correlatos e cruciais para este tema: melhoria da Qualidade e melhoria contínua. O primeiro refere-se à "parte da gestão da Qualidade focada no aumento da capacidade de atender aos requisitos da Qualidade" e o segundo, à "atividade recorrente para aumentar a capacidade de atender requisitos". Ao eliminar causas raízes, defeitos são removidos de forma permanente e, portanto, aumenta-se a capacidade de atender aos requisitos. Conclui-se então que, ao tratar as causas raízes dos defeitos, a melhoria da Qualidade e a melhoria contínua estão sendo implementadas de fato.

Neste trabalho, são apresentados três casos reais de análise da causa raiz de defeitos com foco na melhoria da Qualidade e na melhoria contínua através de:

- ✓ modelo de gestão;
- ✓ processos de medição; e
- ✓ controle de variáveis de produção.

A Alta Direção tem um papel relevante no estabelecimento de uma cultura organizacional de melhoria da Qualidade com o tratamento de causas raízes. Segundo Breyfogle III (2003), Deming enfatizava que a chave para a melhoria da Qualidade está nas mãos dos gestores, pois a maioria dos problemas é resultante do sistema e não dos colaboradores. Para esta afirmação, Deming utilizou a Estatística para identificar condições de causas especiais e comuns de problemas, percebendo que as comuns resultaram de variação sistêmica, enquanto que as especiais foram de natureza imprevisível. Esta observação pode amparar cientificamente o impacto do modelo de gestão na Qualidade.

Os processos de medição e monitoramento desajustados também podem ser causas raízes de defeitos. O estudo da repetitividade e reproduzibilidade, segundo

Breyfogle III (2003), é a avaliação dos instrumentos de medição para determinar a capacidade do rendimento a uma resposta precisa.

Por vezes, variáveis de produção, como o tempo de duração de certos processos, podem ser causas raízes de defeitos. Entretanto, como estas variáveis muitas vezes estão associadas, é necessário um experimento controlado para isolar as que se correlacionam com o defeito. Desta forma, define-se com clareza o impacto de variáveis relevantes no produto final.

Os três casos foram trabalhados em subsidiárias locais de multinacionais respectivamente de países de origens distintas.

Esta diversidade geográfica enfatiza o aspecto universal da Qualidade, bem como a abrangência das categorias de produtos, conforme estabelecidas na norma ABNT NBR ISO 9000:2005 :

- ✓ caso 1 - serviços e informações;
- ✓ caso 2 - materiais e equipamentos; e
- ✓ caso 3 - materiais processados.

1 ESTUDO DE CASO 1 - *SOFTWARE*

Este estudo consistiu no uso da Estatística Descritiva para a melhoria da Qualidade do produto X, um *software* aplicativo, fornecido pela empresa Alfa de Tecnologia da Informação (TI).

Com o crescente aumento da dependência das organizações em relação à TI, tornou-se vital gerenciar riscos e eliminar problemas nos *softwares*, em particular, para os aplicativos de suporte às atividades de negócios.

O *software* de aplicação consiste de programas isolados que resolvem uma necessidade específica do negócio. Aplicações nessa área processam dados comerciais ou técnicos de um modo que facilita as operações ou gestão/tomada de decisões técnicas do negócio. Além das aplicações convencionais de processamento de dados, o *software* de aplicação é usado para controlar funções do negócio em tempo real (por exemplo, processamento de transações no ponto-de-venda, controle de processo de fabricação em tempo real). (PRESSMAN, 2006, p. 6)

Neste contexto, um cliente da empresa Alfa implementou um modelo de gestão de serviços de TI, alinhado com esta criticidade, no qual, se estabeleceu uma disciplina permanente de remoção de defeitos em aplicativos.

O processo de "Gerenciamento de Problema" deste modelo utilizou as estatísticas dos incidentes reportados pelos usuários para a análise causal de problemas.

O principal objetivo do processo de Gerenciamento de Problema é minimizar o impacto adverso no negócio dos incidentes e problemas decorrentes de erros conhecidos relacionados com a infra-estrutura de TI, prevenindo a repetição de incidentes relacionados com estes erros conhecidos. Para alcançar este objetivo, o processo de Gerenciamento de Problema procura determinar a causa-raiz dos incidentes reportados à Central de Serviços e ações necessárias para implementação de uma solução definitiva para a anomalia observada na utilização de determinado serviço de TI. (MAGALHÃES; PINHEIRO, 2007, p. 149)

Observações:

- a) Para preservar a confidencialidade das organizações, foram utilizados termos e modelos técnicos análogos, mantendo-se as características originais do caso.
- b) Deste ponto em diante do texto, "software aplicativo" será referenciado apenas como "aplicativo".

1.1 OBJETIVO

Um gerente da empresa Alfa de TI tinha a demanda de reduzir a quantidade de chamados abertos em uma Central de Serviços (CS) relativos ao produto X, um aplicativo fornecido pelo seu departamento. Esta redução deveria ocorrer através de melhorias do produto, implicando na remoção da causa raiz de defeitos crônicos reportados à CS.

Neste intuito, o gerente propôs uma tentativa de aplicação do Método de Análise e Solução de Problemas (MASP), caracterizado no item 1.4.3 deste trabalho. A Estatística Descritiva foi a base para esta aplicação com a coleta, summarização e apresentação dos dados dos chamados.

Neste estudo, apresentou-se a análise de um dos grupos de chamados com a proposta de aplicação desta metodologia. Os demais grupos não fizeram parte do escopo deste trabalho, bem como o detalhamento das tecnologias do aplicativo e das informações financeiras.

1.2 REVISÃO DA LITERATURA

Pressman (2006) é um clássico, cuja primeira edição foi publicada em 1982. O autor é uma autoridade mundial nas tecnologias de melhoria dos processos e de engenharia de *software*. Nesta obra, constam os fundamentos teóricos da construção e manutenção de *software*. Focou-se no item "26.6 - Garantia Estatística da Qualidade de *Software*": do "Capítulo 26 - Gestão da Qualidade" :

Garantia estatística da qualidade reflete uma tendência crescente em toda a indústria, de tornar-se mais quantitativa a respeito da qualidade. Para o *software*, a garantia estatística de qualidade implica os seguintes passos.

1. Informação sobre defeitos de *software* é coletada e categorizada.
2. Uma tentativa de rastrear cada defeito até sua causa subjacente (por exemplo, não conformidade com as especificações, erro de projeto, violação de normas, pouca comunicação com o cliente) é feita.
3. Usando o princípio de Pareto (80% dos defeitos podem ser rastreados até 20% de todas as causas possíveis, isole os 20% (os "poucos vitais").

4. Uma vez identificadas as poucas causas vitais, trate de corrigir os problemas que causaram defeitos.

Esse conceito relativamente simples representa um importante passo em direção à criação de um processo adaptativo de *software* no qual são feitas modificações para aperfeiçoar os elementos do processo que introduzem erro. (PRESSMAN, 2006, p. 591)

Este conceito engloba a coleta e a categorização de defeitos, que podem ser atividades extremamente difíceis. Muitas vezes, percebe-se um defeito muito tempo após a sua ocorrência, quando já se perderam os seus detalhes.

Na citação abaixo, o autor diferencia erro e defeito, no sentido de que o tratamento do erro é pró-ativo e do defeito, reativo.

Neste livro, fizemos uma clara distinção entre um erro (um problema de qualidade encontrado antes que o *software* seja entregue aos usuários finais) e um defeito (um problema de qualidade encontrado somente depois que o *software* foi entregue aos usuários finais). Fazemos essa distinção porque erros e defeitos têm impacto econômico de negócio, psicológico e humano muito diferente. Como engenheiros de *software*, queremos encontrar e corrigir tantos erros quanto possível antes que o cliente e/ou usuário final os encontrem. Queremos evitar defeitos - porque defeitos (justificavelmente) fazem o pessoal de *software* aparecer mal. É importante observar, no entanto, que a distinção temporal feita entre erros e defeitos neste livro não é o pensamento da maioria. O consenso geral em uma comunidade de engenharia de *software* é que defeitos e erros, falhas e *bugs* são sinônimos. Isto é, a época em que o problema foi encontrado não tem a ver com o termo usado para descrever o problema. Parte do argumento em favor de nosso ponto de vista é que é algumas vezes difícil fazer uma clara distinção entre uma pré e pós-entrega. (PRESSMAN, 2006, p. 583)

De fato, o defeito é mais severo, pois impacta o usuário. Porém, é discutível afirmar que os engenheiros de *software* não têm esta consciência. Talvez tenham, porém as tecnologias de qualificação de *software* muitas vezes não conseguem reproduzir a complexidade do ambiente de utilização do produto.

Em Chrissis; Konrad e Shrum (2003) são apresentadas as melhores práticas para o desenvolvimento e manutenção de produtos e serviços abrangendo todo o ciclo de vida, desde a concepção até a entrega e manutenção. Estas práticas são genéricas e independem do produto, porém se tornaram referência para a TI. Extraiu-se a seguinte citação que mostra os principais fatores que tornam a Qualidade um desafio para a TI:

Mais do que nunca, as organizações querem entregar produtos melhores, mais rápidos e mais baratos. Ao mesmo tempo, no cenário de alta tecnologia do século XXI, quase todas as organizações se encontram construindo produtos mais complexos. Hoje, uma única organização não é capaz de desenvolver todos os componentes que integram os seus

produtos. Usualmente, alguns componentes são de fabricação própria e outros, adquiridos e, então, todos são integrados para compor o produto final. As organizações devem ser capazes de gerenciar e controlar a consequente complexidade do desenvolvimento e manutenção dos produtos. (CHRISSIS;KONRAD;SHRUM, 2003 p. xiii)

De fato, a diminuição do ciclo de vida dos produtos, o aumento da complexidade dos *softwares* e a necessidade de integração de componentes de diferentes fornecedores aumentaram muito o risco de defeitos. Em paralelo, também aumentou a complexidade do gerenciamento de serviços de TI pela quantidade de usuários finais e de transações geradas. Neste cenário, mais do que nunca, tornou-se crítico o emprego da Estatística.

Uma diferença importante entre um processo definido e um processo gerenciado quantitativamente é a predição do seu desempenho. O termo "quantitativamente gerenciado" implica em usar estatísticas apropriadas e outras técnicas quantitativas para gerenciar o desempenho de um ou mais subprocessos, de forma que o desempenho do processo possa ser inferido. (CHRISSIS;KONRAD;SHRUM, 2003 p. 37)

O monitoramento estatístico de problemas requer, muitas vezes, uma estrutura de Central de Serviços (CS), com o registro detalhado dos chamados. Assim, a coleta estatística de dados de defeitos deve ser construída com base no tipo de aplicação, quantidade de usuários, estrutura e ferramentas tanto do cliente, quanto dos seus fornecedores.

Chrissis; Konrad e Shrum (2003) também abordam a institucionalização dos processos, ou seja, definem que a organização deve estabelecer e manter uma política organizacional para planejar e executar os seus processos, o que é uma diretriz de um sistema de gestão da Qualidade consistente.

O propósito da prática genérica de institucionalização de processos é definir as expectativas organizacionais para o processo e tornar estas visíveis para todos que são afetados dentro da organização. Em geral, a gestão executiva é responsável por estabelecer e comunicar os princípios, direções e expectativas para a organização.(CHRISSIS;KONRAD;SHRUM, 2003, p. 39)

Em Magalhães e Pinheiros (2007), a CS é descrita como a interface entre a área de TI e os usuários, ou seja, a primeira "escuta".

[...] Ela é responsável pela primeira impressão que a área de TI dará aos seus usuários quando da necessidade de interação, quer seja para a solicitação de um serviço ou esclarecimento sobre o modo de interação com serviço de TI ou para a comunicação de um erro em um serviço de TI. A primeira impressão é, na maioria das vezes, responsável em grande

parte pela determinação da percepção do desempenho e da atitude da área de TI, influenciando o índice de satisfação dos usuários com os serviços de TI. (MAGALHÃES;PINHEIRO, 2007, p. 107)

Observa-se que a CS não é apenas uma ouvidora, pois deve estar capacitada a fazer perguntas de forma metódica, para que o usuário detalhe o problema e informe as condições de uso do produto de forma precisa.

A Central de Serviços é, com freqüência, um local em que as pessoas trabalham sob pressão, subestimando a sua importância e a necessidade de competências e habilidades específicas em elevado nível, o que pode afetar e maneira negativa a capacidade da área de TI fornecer serviços de TI percebidos pelos seus usuários como sendo de qualidade. (MAGALHÃES;PINHEIRO, 2007, p. 107)

O autor mostra também, a responsabilidade da CS em empregar profissionais capacitados, avaliá-los e investir no desenvolvimento das suas competências, que também é uma diretriz de um sistema de gestão da Qualidade consistente.

Nos capítulos 4 e 5, encontra-se o uso das informações do CS para o "Gerenciamento de Incidente" - solução de contorno - e para o "Gerenciamento de Problema" - solução definitiva dos problemas repetitivos.

O objetivo do processo de Gerenciamento de Problema é minimizar o impacto adverso no negócio dos incidentes e problemas decorrentes de erros conhecidos relacionados com a infra-estrutura de TI, prevenindo a repetição de incidentes relacionados com estes erros conhecidos. Para alcançar este objetivo, o processo de Gerenciamento de Problema procura determinar a causa-raiz dos incidentes reportados à Central de Serviços e as ações necessárias para a implementação de uma solução definitiva para a anomalia observada na utilização de determinado serviço de TI, recomendando mudanças nos ICs a serem implementados pelo processo de Gerenciamento de Mudança. (MAGALHÃES;PINHEIRO, 2007, p. 65)

Em Campos (2004), é apresentado o Método de Análise e Solução de Problemas, que complementa o que foi visto nos livros de TI. É importante destacar o comentário do autor sobre a perfeição dos produtos:

C. Do ponto de vista da Estatística, o "DEFEITO ZERO" é impossível. Podemos nos aproximar dele e, quando atingimos não-conformidades da ordem de partes por milhão ou partes por bilhão, podemos dizer que praticamente, atingimos o defeito zero. (CAMPOS, 2004, p. 141)

Esta citação convida à reflexão sobre os limites para tornar um produto PERFEITO, ou seja, sem defeitos. Observa-se que a partir de certo ponto, qualquer incremento de melhoria torna-se excessivamente custoso. Neste momento, deve-se parar e avaliar a continuidade dos esforços.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ORGANIZAÇÕES

A empresa Alfa é uma fornecedora de bens e serviços de TI, com 85% da sua receita provenientes de serviços e 15% do comércio de equipamentos. Atua nos segmentos de varejo, indústria, finanças, transportes, comunicações e setor público. Presta serviços de consultoria, desenvolvimento, suporte e treinamento nas áreas de infra-estrutura, sistemas, processos e negócios.

O foco deste estudo foi o produto X, um aplicativo, e os respectivos serviços de suporte e manutenção.

O CLIENTE, por sua vez, possui UNIDADES usuárias deste aplicativo em várias cidades com abrangência nacional.

1.4 APLICAÇÃO

1.4.1 Caracterização dos Serviços

O CLIENTE implementou uma CS para suporte telefônico a todos os seus aplicativos, organizada em três níveis de atendimento:

Nível 1 - registro do incidente e tentativa de resolução através de pesquisa em base de conhecimento. Ex.: suporte para alteração de senha de acesso;

Nível 2 - tratamento do incidente sem a necessidade de acesso ao código fonte do aplicativo. Ex.: execução de programas de correção de base de dados;

Nível 3 - tratamento do incidente através do acesso ao código fonte do aplicativo. Ex.: rotinas de processamento gerando resultados incorretos de cálculos.

O Suporte Nível 1 (SN1) era prestado pelo próprio CLIENTE, não estando vinculado aos seus fornecedores. Era sua função receber a primeira ligação do usuário, registrar o chamado no sistema de controle, pesquisar uma base de conhecimento

para identificar uma solução e, quando necessário, repassar ao SN2. Também efetuava o encerramento do chamado no sistema independente do nível que resolveu o problema.

Os serviços de SN2 e SN3 de cada aplicativo eram prestados pelo respectivo fornecedor nas suas instalações, integrando-se ao SN1 através do acesso remoto ao sistema de computador do CLIENTE para o registro, armazenamento e consulta dos chamados. A interação com o usuário que abriu o chamado ocorria por telefone.

Na empresa Alfa, o SN2 e o SN3 eram prestados por departamentos distintos: o de suporte e o de produto respectivamente.

1.4.2 O Compromisso Cliente x Fornecedor

Ao estabelecer este modelo, o CLIENTE buscava reduzir a quantidade de chamados ao longo do tempo, para aumentar a satisfação dos usuários de TI e diminuir custos.

Os fornecedores comprometeram-se com este objetivo através de contratos para a prestação do SN2 e SN3 com reduções periódicas dos valores pagos pelo CLIENTE. Assim, diminuir chamados permitiria a empresa Alfa ajustar periodicamente a sua estrutura ao novo patamar de faturamento dos serviços.

O CLIENTE comprometeu-se a fornecer e administrar o sistema para o registro e armazenamento das informações dos chamados. Os atendentes faziam os registros em texto livre, não dispondo de recursos para coleta e tabulação de dados. Assim, cada fornecedor extraía os chamados para formatação e análise com ferramentas próprias. Observa-se que os atendentes eram técnicos, nem sempre dotados de boa comunicação escrita. Esta questão podia demandar maior esforço para identificação de padrões de comportamento dos problemas.

1.4.3 O Método Proposto

Com foco na redução de chamados à CS, o gerente do departamento da empresa Alfa, fornecedor do produto X, tentou empregar o MASP para identificar e resolver problemas.

Oliveira (2007, p. 43) descreve: "O MASP é um método fundamental no TQC como suporte à tomada de decisões gerenciais. O método se baseia numa seqüência lógica e racional de análise do processo sempre calcada em dados e fatos, objetivando a determinação das causas que levam o processo a apresentar resultados indesejáveis, a fim de bloqueá-las".

Segundo Kunzler e Girardi (2007, p. 65), "O MASP é uma ferramenta muito útil para definir a causa de problemas e permite prevenir a reincidência do mesmo. Para a sua implementação é importante que a gerência esteja aberta para aplicar esta ferramenta uma vez que envolve vários setores. O principal ponto de partida é o ciclo PDCA, que comumente é utilizado para aplicar o conceito de melhoria contínua".

A primeira etapa do PDCA é planejar, que consiste em coletar informações, estabelecer metas e definir o caminho a ser seguido, por exemplo, um plano de ação. O segundo se refere a executar, que consiste em colocar em prática o plano de ação. O terceiro é a verificação a partir dos dados coletados na execução em comparação com as metas. A quarta e última etapa são as ações corretivas que devem ser aplicadas para que o problema não reincida. (KUNZLER;GIRARDI, 2007, p. 65)

O MASP está estruturado em 8 etapas, seguindo o conceito do ciclo PDCA, que em inglês corresponde a *Plan, Do, Check and Act*, traduzido como: Planejar, Executar, Verificar e Atuar. Na Figura 1.1, encontra-se o fluxograma do MASP e no Quadro 1.1, os objetivos de cada etapa.

A utilização da Estatística Descritiva é base para a aplicação deste método através da coleta, summarização e análise dos dados dos chamados com tabelas, gráficos e medidas de posição e dispersão.

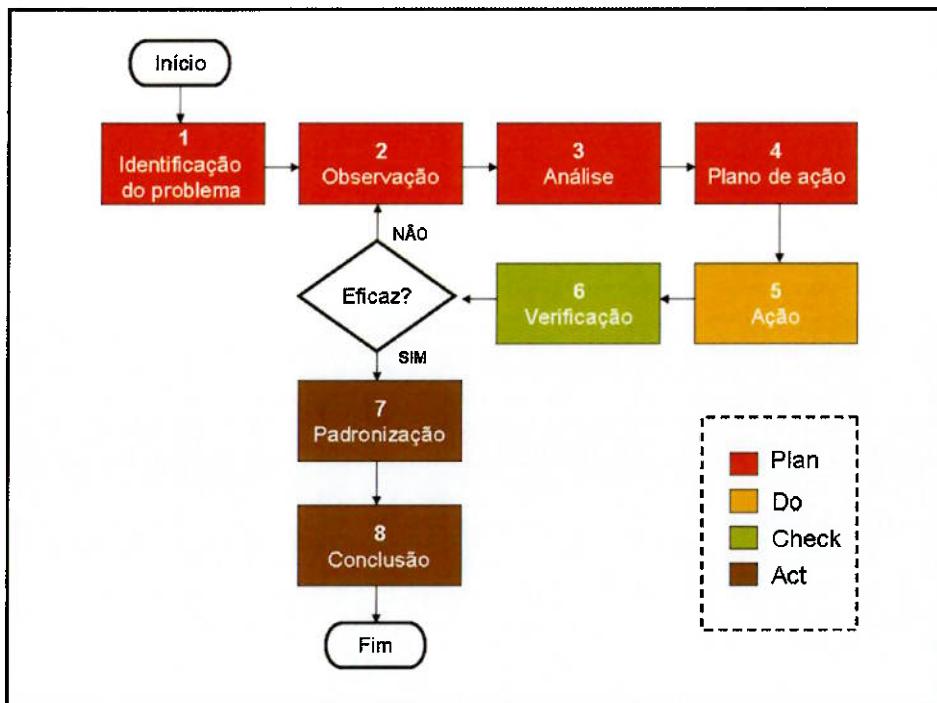


Figura 1-1 - Fluxograma do MASP

PDCA	MASP - ETAPAS		OBJETIVO
P	1	Identificação do problema	Definir claramente o problema e sua importância
	2	Observação	Investigar as características específicas do problema
	3	Análise	Descobrir as causas fundamentais do problema
	4	Plano de ação	Conceber um plano de ação para resolver o problema
D	5	Ação	Bloquear as causas fundamentais do problema
C	6	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo
A	7	Padronização	Prevenir para o problema não aparecer
	8	Conclusão	Analisa todo o processo de solução do problema para trabalho futuro

Quadro 1.1 - Etapas do MASP x PDCA

1.4.4 A Aplicação do Método

1.4.4.1 ETAPA 1 - Identificação do Problema (PLAN)

A Escolha do Problema

Nesta fase, procurou-se identificar a oportunidade de melhoria com o maior potencial de redução da quantidade de chamados para o produto X no CLIENTE. Esta análise foi feita pelo departamento do produto com base nas informações passadas pelo SN2.

O SN2 havia implementado uma classificação de grupos de chamados baseada na experiência dos seus analistas. Como o sistema de registro de chamados fornecido pelo CLIENTE não permitia a inclusão de novas variáveis, a empresa Alfa desenvolveu uma ferramenta própria para o registro adicional do grupo no encerramento do chamado.

Na Tabela 1.1, apresenta-se a tabulação dos 4 meses subseqüentes à implantação deste procedimento e no Gráfico 1.1, a distribuição dos totais de chamados por grupo.

Tabela 1.1 - Grupos de chamados do período do mês 1 ao mês 4

GRUPO DE CHAMADOS	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Total	%	% Acum	Média	Desvio Padrão
01 - Discrepância	542	592	642	674	2.450	24,4%	24,4%	613	58
02 - Estação cliente	459	451	426	454	1.790	17,8%	42,2%	448	15
03 - Estação servidora	294	315	337	454	1.400	13,9%	56,2%	350	72
04 - Importação de arquivos	267	251	237	205	960	9,6%	65,7%	240	26
05 - Interfaces legados	141	104	148	224	617	6,1%	71,9%	154	50
06 - Recepção	165	108	130	140	543	5,4%	77,3%	136	24
07 - Fechamentos	156	112	96	144	508	5,1%	82,3%	127	28
08 - Alocação	62	147	114	101	424	4,2%	86,5%	106	35
09 - Arquivo TCA	144	69	85	99	397	4,0%	90,5%	99	32
10 - Módulo MP	73	48	114	99	334	3,3%	93,8%	84	29
11 - Reprocessamento	146	65	57	45	313	3,1%	96,9%	78	46
12 - Relatórios	92	60	76	79	307	3,1%	100,0%	77	13
Totais	2.541	2.322	2.462	2.718	10.043	100,0%	—	2.511	165

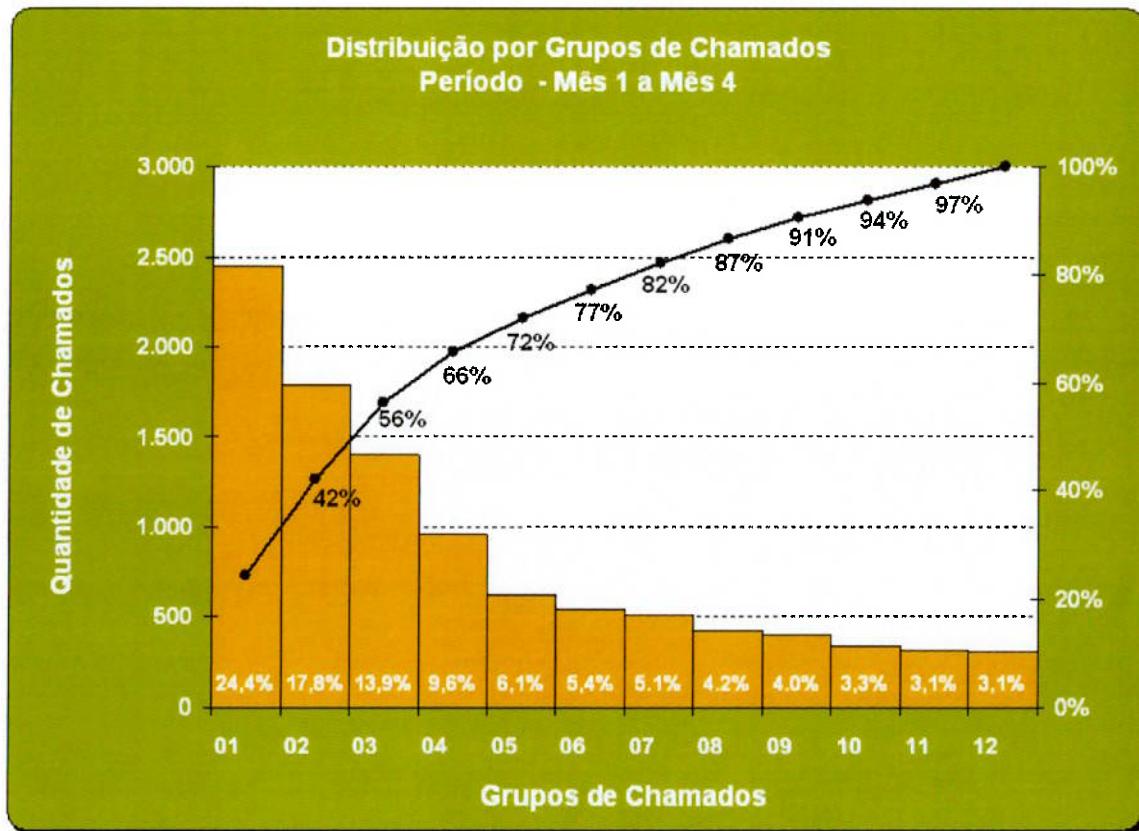


Gráfico 1.1 - Distribuição por grupos de chamados

Os grupos apresentaram desvio padrão baixo, indicando pouca variabilidade das quantidades de chamados entre os meses. Por este motivo, os valores médios foram considerados representativos. Neste momento, não era possível avaliar a sazonalidade por falta de dados históricos.

Observou-se que 7 dos 12 grupos, um pouco mais da metade, continham 82% dos chamados. Pelo Princípio de Pareto, que estabelece que "poucos itens são vitais e muitos são triviais", havia a expectativa de 2 a 3 grupos correspondentes aos 20% preconizados. Porém, considerou-se que muitas destas categorias ainda eram consequências e não causas vitais. Outro ponto era que estes grupos ainda estavam muito preliminares e poderiam ser refinados.

Como o grupo "1 - Discrepância" apresentou o maior potencial para redução com média 613 e participação de 24,4% no período, a equipe de produto iniciou uma frente de trabalho para tratá-lo. Considerou-se também, a importância dada pelo CLIENTE a este assunto.

O Histórico do Problema

O produto X era um aplicativo com arquitetura cliente-servidor, com estações de trabalho (microcomputadores) conectadas a um servidor central na própria UNIDADE, sem a utilização de serviços de comunicação externos e regionais.

A Discrepância era um chamado aberto quando o usuário comparava dois relatórios de totais diários e percebia diferenças entre os resultados apurados em cada um. Estes relatórios, apesar de gerados pelo aplicativo no servidor, utilizavam fontes distintas da informação, sendo uma da estação e outra do próprio servidor. De certa forma, era um mecanismo de controle e auditoria do aplicativo.

A Discrepância era apenas consequência e não causa do problema. Não necessariamente se tratava de um defeito de programa, podendo ser, por exemplo, a perda total ou parcial da informação em uma estação devido a avarias no *hardware*, apesar do espelho desta informação continuar íntegro no servidor.

Considerando-se a quantidade mínima de 18 milhões de transações processadas mensalmente e a média de 613 chamados, tinha-se uma estimativa de no máximo uma ocorrência a cada 30 mil transações. Esta baixa freqüência, ilustrava a dificuldade encontrada para a coleta de evidências para diagnósticos.

Entretanto, o CLIENTE tinha a percepção de que a Discrepância era "o problema", ou seja, um defeito de programa. O desafio seria mostrar que a solução não era única e imediata pela diversidade de causas possíveis.

Criou-se um índice para medir a importância da Discrepância em relação aos demais grupos, com base no critério da quantidade de chamados, para amparar a tomada de decisão nos investimentos no seu tratamento e na sua continuidade.

$$\text{ID} = \text{QCD} / \text{QTC} * 100$$

ID = Índice de Discrepância

QCD = Quantidade de chamados de Discrepância no mês

QTC = Quantidade total de chamados no mês

O ID, que se tornou um instrumento de comunicação interna e com o CLIENTE, atendia aos requisitos de escolha de um indicador conforme Calegare (2005):

- ✓ **Representatividade:** dava uma idéia clara da contribuição da Discrepância para a quantidade total de chamados.
- ✓ **Simplicidade e baixo custo de obtenção:** era facilmente compreendido e gerado sem grandes complicações.
- ✓ **Estabilidade:** permitia comparar ao longo do tempo a contribuição da Discrepância para a quantidade total de chamados.

Nas reuniões com o CLIENTE para análise da situação corrente, este índice sempre era apresentado em conjunto com as estatísticas da quantidade total de chamados.

É importante notar que este índice não media a tendência de melhoria da Discrepância. Por exemplo, se a quantidade de Discrepâncias continuasse no mesmo patamar, porém a quantidade total de chamados diminuisse por outros motivos, o ID aumentaria sem que a Discrepância necessariamente tivesse piorado. Ou seja, o ID apenas indicaria que este problema se tornava mais importante para a redução dos chamados como um todo.

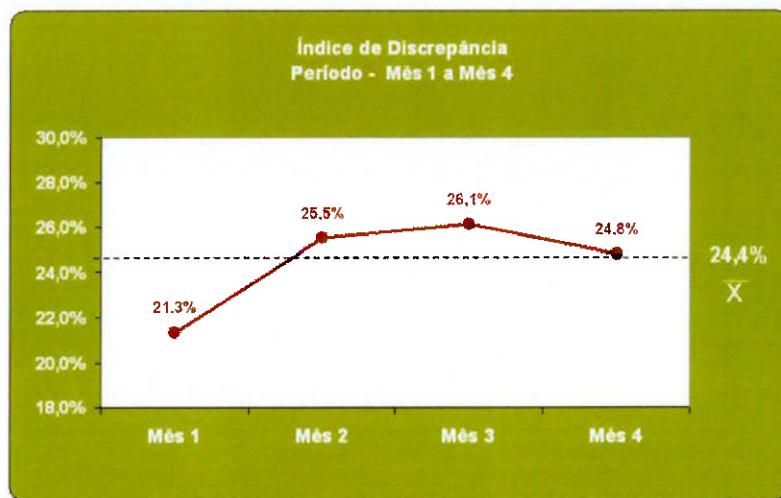
A criação de um índice de tendência demandaria conhecer informações do CLIENTE como a quantidade de transações mensais processadas, a quantidade de estações ativas em cada UNIDADE e outras variáveis de uso do produto X não disponíveis para a empresa Alfa. Com este tipo de informação, seria possível acompanhar, por exemplo, o número de ocorrências por transações processadas ou por estações ativas.

A quantidade absoluta de Discrepâncias também não poderia ser um índice de tendência, pois estaria destacada do cenário de utilização do produto como um todo, impossibilitando a sua interpretação.

Na Tabela 1.2, apresenta-se o ID tabulado para os dados dos 4 meses disponibilizados pelo SN2, confirmando o alinhamento da escolha deste grupo com o objetivo de redução de chamados. No Gráfico 1.2, pode-se visualizar estes resultados.

Tabela 1.2 - Índice de Discrepância do período mês 1 ao mês 4

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Média	Desvio Padrão
QCD	542	592	642	674	613	58
QTC	2.541	2.322	2.462	2.718	2.511	165
ID	21,3%	25,5%	26,1%	24,8%	24,4%	2,1%

**Gráfico 1.2 - Índice de Discrepância do período mês 1 ao mês 4**

Pelo menos durante este período, a Discrepância mostrou-se relativamente importante para a redução da quantidade de chamados.

Perdas Atuais e Ganhos Potenciais

Com base no tempo médio de 45 minutos para atendimento de um chamado de Discrepância e na média de 613 chamados mensais, estimaram-se 460 horas de atendimento e respectivos custos mensais para este grupo.

Como eliminar este problema poderia não ser factível, considerou-se baixar o ID para 5%. Para este cenário hipotético, recalculararam-se as quantidades médias de chamados:

(1) Total de chamados eliminando o grupo de Discrepância

$$\text{Total de chamados} = 2.511 - 613 = 1898$$

(2) Quantidade de Discrepâncias para um ID de 5%

$$\text{Discrepâncias} = (1.898 / 0,95) \times 0,05 = 100$$

(2) Total de chamados com a Discrepância para um ID de 5%

$$\text{Total de chamados} = 1.898 + 100 = 1.998$$

Isto significaria baixar a média de Discrepâncias de 613 para 100, com uma economia esperada de 84% para este grupo, com a redução da quantidade de horas de atendimento de aproximadamente 460 para 75.

Mais importantes do que esta economia, seriam os ganhos intangíveis com o aumento da satisfação do CLIENTE com a redução deste problema.

Seleção e Priorização de Temas

Nesta etapa, havia poucas informações sobre a Discrepância que permitissem definir um espectro mais amplo de temas. A causa raiz poderia ter ocorrido a qualquer momento do dia, pois o problema era percebido somente no fechamento, tornando inócula, por exemplo, a estratificação de chamados por faixa horária. Também, não se dispunha de informações do CLIENTE, como a quantidade de transações processadas, estatísticas de atividade das estações e etc.

Através de uma pesquisa automatizada de palavra-chave nos chamados do período, conseguiu-se mapear 3 categorias para o tipo de problema: assincronia, transferência e outros. No Gráfico 1.3, encontra-se a distribuição dos chamados por estas categorias.

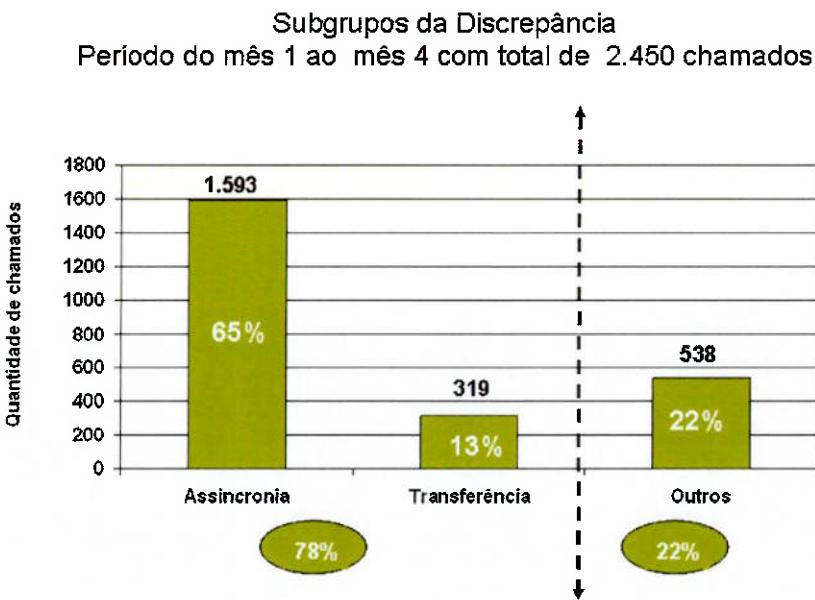


Gráfico 1.3 - Distribuição por tipo de Discrepâncias

Na etapa 2, de observação do problema, poderia-se focar nestes temas:

- ✓ Assincronia - problema no envio de uma transação específica de uma estação para o servidor, durante o dia, caracterizando a perda de sincronia desta estação com o servidor.
- ✓ Transferência - problema na transferência do arquivo de totais de uma estação específica para o servidor no fechamento desta estação ao final do dia, no processo de auditoria do sistema.

O tema da assincronia parecia o de maior importância e talvez, o mais complexo.

A transferência já era alvo de melhorias antes deste estudo e bastaria dar continuidade.

Estabelecimento de Meta Viável

Estabeleceu-se atingir a meta de um ID mensal limitado a 5% nos 6 meses subsequentes. Esta meta foi definida com base no exercício feito no item "Perdas

Atuais e Ganhos Potenciais", que mostrou um potencial de economia compatível com a redução periódica do faturamento.

Neste momento, havia dificuldades para avaliar a viabilidade da meta, pois o menor ID conhecido era de 21,3%, muito acima da meta estabelecida.

1.4.4.2 ETAPA 2 - Observação do Problema (PLAN)

O Conhecimento do Processo onde o Problema Ocorre

O aplicativo possuía uma arquitetura cliente-servidor com um servidor para consolidar de forma transacional e em tempo real as informações geradas nas estações (clientes) conectadas. No final do dia, o operador executava um processo de fechamento do sistema, cuja primeira etapa consistia no envio para o servidor dos arquivos com os totais apurados localmente nas estações.

O objetivo deste processo era a conciliação das informações cliente-servidor com a checagem de que todas as transações das estações de trabalho houvessem sido transmitidas corretamente no momento da sua geração para o servidor durante o dia, confirmando a integridade e confiabilidade dos dados.

Este processo era crítico, pois o servidor repassava as informações para os demais sistemas do CLIENTE, ou seja, alimentava toda a cadeia de informações da organização.

Se todas as estações enviassem os seus arquivos de totais no final do dia com sucesso para o servidor (transferência) e se os totais coincidissem com os gerados durante o dia no servidor (sincronia), o operador poderia prosseguir para a próxima etapa do fechamento do sistema. Caso contrário, o operador do servidor acessaria à CS para abertura de um chamado para tratamento desta Discrepância.

A Figura 1.2 apresenta o fluxograma deste processo de fechamento do aplicativo.

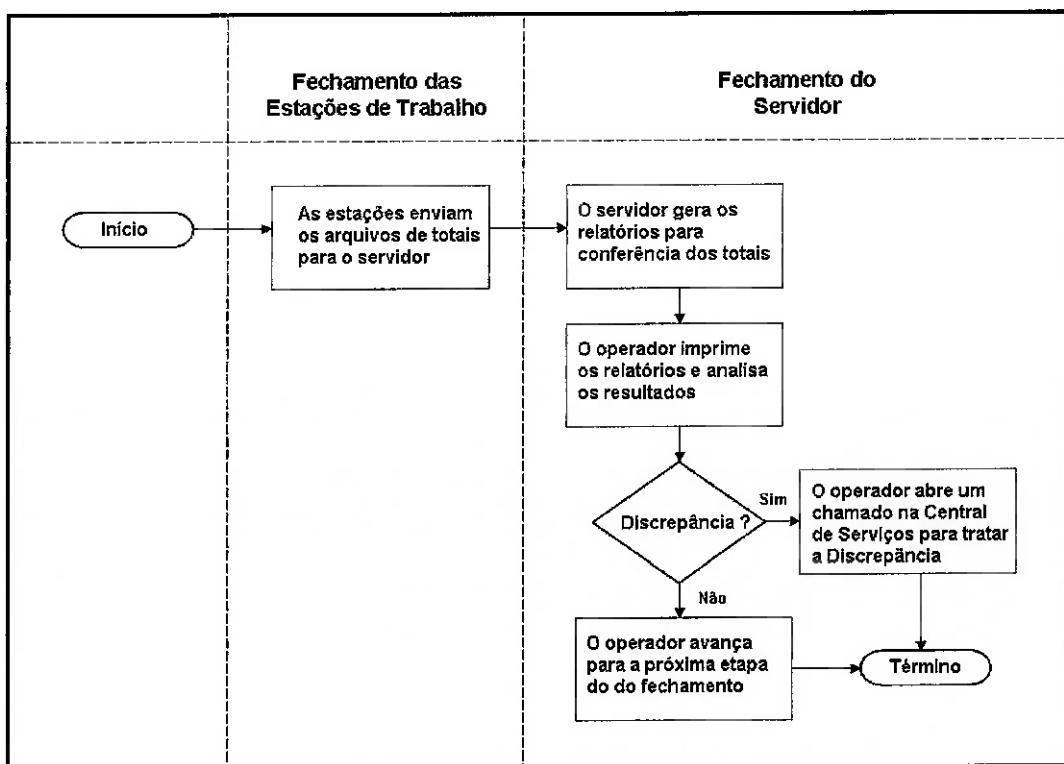


Figura 1-2 - Fluxograma do fechamento diário

Levantamento das Características do Problema através de Coletas de Dados

Nos registros dos chamados, faltavam informações importantes para a análise. Assim, criou-se um sistema paralelo para que os analistas do SN2 coletassem e registrassem dados adicionais dos chamados. O grupo de trabalho considerou como prioritárias as seguintes informações:

- ✓ o código da UNIDADE no qual ocorreu o problema;
- ✓ o número da estação cliente; e
- ✓ tipo: assincronia, transferência ou outros.

O objetivo foi visualizar como a Discrepância estava distribuída entre as UNIDADES e respectivas estações para buscar relações com características especiais.

Nesta etapa, focou-se na observação da assincronia cliente-servidor.

É importante enfatizar que as assincronias normalmente ocorriam despercebidas durante o dia e os seus efeitos só eram notados somente no fechamento noturno.

Neste momento, as evidências poderiam não existir mais, o que dificultava a determinação da causa raiz quando do atendimento do chamado.

No primeiro mês de tabulação da quantidade de vezes nas quais uma mesma UNIDADE abriu chamado de assincronia no mês, foram mapeados 422 chamados em 202 UNIDADES - vide Tabela 1.3 e Gráfico 1.4.

A assincronia concentrou-se em 95 destas UNIDADES, ou seja, em mais da metade das 202 UNIDADES o problema não ocorreu.

Nestas 95 UNIDADES, também houve concentração com 78% das assincronias distribuídas em apenas 45% das UNIDADES deste grupo, ou seja, 331 ocorrências em 43 UNIDADES.

Na UNIDADE que apresentou o maior número de ocorrências no mês, com um total de 19, havia concentração de 17 em 2 estações de um mesmo departamento, sendo 9 na primeira e 8 na segunda.

Em apenas 8 UNIDADES (4%) houve mais de 10 ocorrências e em 52 UNIDADES (25%) houve de 1 a no máximo 3.

No segundo mês de tabulação, foram mapeadas 532 assincronias em 214 UNIDADES - vide Tabela 1.4 e Gráfico 1.5.

Houve concentração em 104 destas UNIDADES, ou seja, em quase metade das 214 UNIDADES o problema não ocorreu.

Nestas 104 UNIDADES, também houve concentração com 81% das assincronias distribuídas em apenas 46% das UNIDADES deste grupo, ou seja, 432 ocorrências em 48 UNIDADES.

Em apenas 14 UNIDADES (7%) houve mais de 10 ocorrências e em 56 UNIDADES (26%) houve de 1 a no máximo 3.

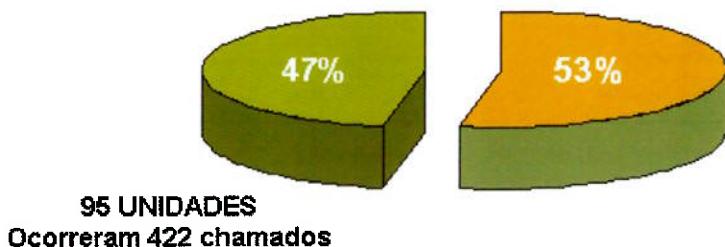
Observou-se que 3 UNIDADES ficaram entre as 6 primeiras colocadas tanto na primeira tabulação quanto na segunda.

Tabela 1.3 - Primeira tabulação por UNIDADES e estações

Assincronias no mês F	Qtde de UNIDADES U	Total de Assincronias F x U	Frequência Acumulada Assincronias	% Acumulado Assincronias	Frequência Acumulada UNIDADES	% Acumulado UNIDADES
19	1	19	19	5%	1	1%
18	0	0	19	5%	1	1%
17	0	0	19	5%	1	1%
16	1	16	35	8%	2	2%
15	2	30	65	15%	4	4%
14	1	14	79	19%	5	5%
13	2	26	105	25%	7	7%
12	1	12	117	28%	8	8%
11	0	0	117	28%	8	8%
10	0	0	117	28%	8	8%
9	8	72	189	45%	16	17%
8	2	16	205	49%	18	19%
7	2	14	219	52%	20	21%
6	4	24	243	58%	24	25%
5	12	60	303	72%	36	38%
4	7	28	331	78%	43	45%
3	10	30	361	86%	53	56%
2	19	38	399	95%	72	76%
1	23	23	422	100%	95	100%
TOTAIS	95	422				

Assincronias - Análise de 202 UNIDADES

107 UNIDADES
Não ocorreram chamados

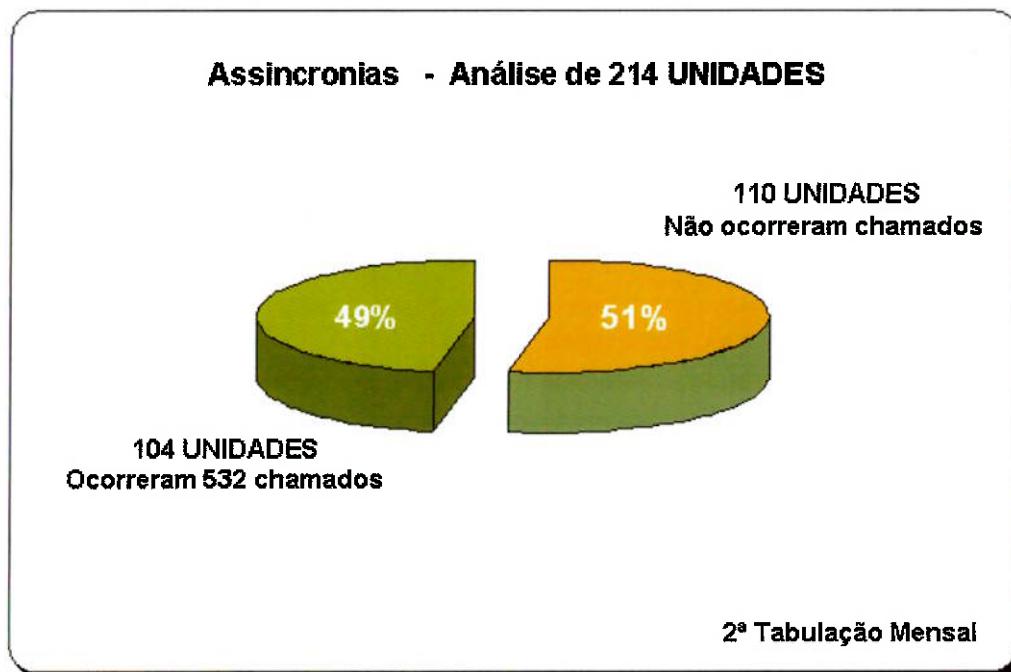


1ª Tabulação Mensal

Gráfico 1.4 - Primeira tabulação por UNIDADES e estações

Tabela 1.4 - Segunda tabulação por UNIDADES e estações

Assincronias no mês F	Qtde de UNIDADES U	Total de Assincronias F x U	Frequência Acumulada Assincronias	% Acumulado Assincronias	Frequência Acumulada UNIDADES	% Acumulado UNIDADES
21	2	42	42	8%	2	1%
20	0	0	42	8%	2	1%
19	0	0	42	8%	2	1%
18	0	0	42	8%	2	1%
17	2	34	76	14%	4	2%
16	2	32	108	20%	6	3%
15	2	30	138	26%	8	4%
14	0	0	138	26%	8	4%
13	1	13	151	28%	9	4%
12	1	12	163	31%	10	5%
11	4	44	207	39%	14	7%
10	2	20	227	43%	16	7%
9	3	27	254	48%	19	9%
8	6	48	302	57%	25	12%
7	5	35	337	63%	30	14%
6	9	54	391	73%	39	18%
5	5	25	416	78%	44	21%
4	4	16	432	81%	48	22%
3	13	39	471	89%	61	29%
2	18	36	507	95%	79	37%
1	25	25	532	100%	104	49%
0	110	0	532	100%	214	100%
TOTAIS	214	532				

**Gráfico 1.5 - Segunda tabulação por UNIDADES e estações**

1.4.4.3 ETAPA 3 - Análise do Problema (PLAN)

Levantamento das Causas Influentes

Pela análise dos dados, concluiu-se que havia dois tipos de assincronias: as concentradas em estações e as distribuídas pelas estações. As primeiras seriam mais fáceis de tratar, pois, com acompanhamento, poderiam ser identificadas causas específicas. As segundas, bem mais difíceis, pois estavam distribuídas e com repetibilidade na mesma estação quase nula.

Com base na investigação da UNIDADE que apresentou o maior número de ocorrências de assincronias na Tabela 1.3, identificou-se um defeito de programa em uma função utilizada por um departamento específico. Este defeito foi reproduzido em laboratório e a sua correção entrou no planejamento da próxima versão corretiva do produto X.

Em paralelo à coleta de dados, prosseguiu-se com a análise dos motivadores da Discrepância, através de reuniões com os desenvolvedores do produto e com os analistas de SN2, alguns com mais de 10 anos de experiência neste aplicativo. Também se fizeram reuniões com os usuários em algumas UNIDADES do CLIENTE.

Conduziram-se tanto reuniões internas quanto externas com foco na pergunta:

"Por que as Discrepâncias ocorrem ?".

A Figura 1.3 apresenta o diagrama de causa e efeito delineado a partir dos resultados destas reuniões.

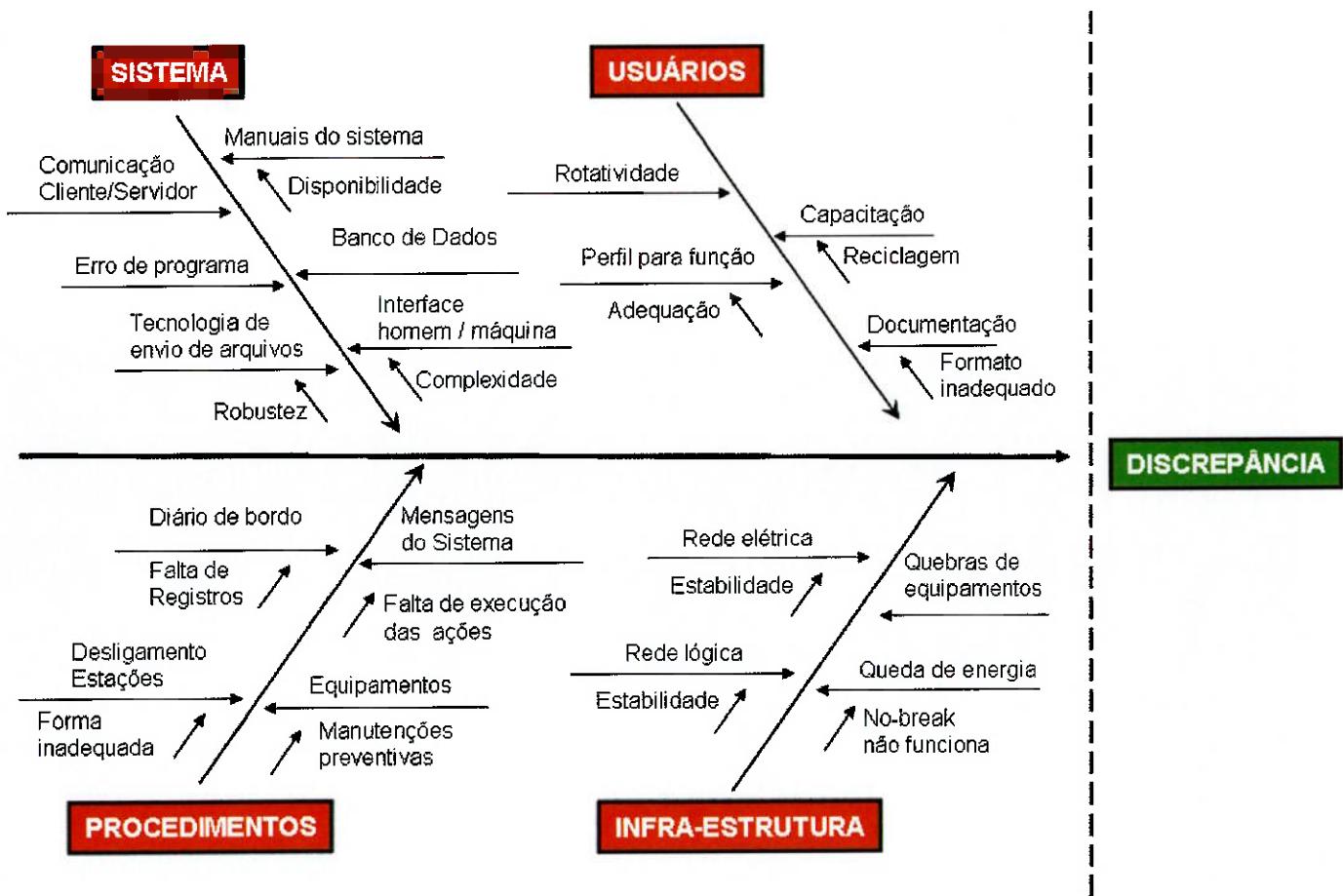


Figura 1-3 - Diagrama de causa e efeito

As Causas mais Prováveis

No Quadro 1.2, as causas foram classificadas em prováveis ou não, conforme avaliação do grupo.

CAUSA - SISTEMA	PROVÁVEL ?	MOTIVO
Comunicação cliente/servidor	Sim	Há oportunidades de melhorias nas consistências
Erro de programa	Sim	Implementações frequentes e com prazos agressivos
Robustez da transferência de arquivos	Sim	Utiliza transferência simples via protocolo FTP
Disponibilidade dos manuais do sistema	Não	Os estabelecimentos possuem controle
Banco de dados	Não	Componente maduro sem evidência de falhas
Complexidade da interface homem/máquina	Não	Não há evidências ou reclamações dos usuários
CAUSA - USUÁRIOS	PROVÁVEL ?	MOTIVO
Rotatividade dos usuários	Não	Há rotatividade mas os substitutos são treinados
Perfil inadequado para a função	Sim	E eventualmente empregados de outros setores fecham o sistema devido o horário avançado
Capacitação - falta de reciclagem	Não	Há documentação e a interface do sistema é amigável
Formato inadequado da documentação	Não	Não há evidências ou reclamações dos usuários
CAUSA - PROCEDIMENTOS	PROVÁVEL ?	MOTIVO
Falta de registro no diário de bordo	Sim	O turno da noite desconhece os problemas ocorridos durante o dia
Desligamento inadequado da estação	Sim	O desligamento do equipamento no painel e não via sistema pode gerar perda da informação na memória
Tratamento das mensagens do sistema	Não	Não há evidências, mas pode causar problemas
Irregularidade na manutenção preventiva dos equipamentos	Não	As manutenções estão em dia
CAUSA - INFRA-ESTRUTURA	PROVÁVEL ?	MOTIVO
Quebra de equipamentos	Sim	Há muitos chamados abertos para reparos na assistência técnica
Rede elétrica instável	Não	Não há evidências
Rede lógica	Sim	Há relatos de instabilidade em alguns estabelecimentos
No-break inativo na queda de energia	Não	Não há evidências

Quadro 1.2 - Causas mais prováveis

1.4.4.4 Etapa 4 - Plano de Ação (PLAN)

A partir da análise das causas mais prováveis e das coletas de dados, estabeleceu-se o plano de ação do Quadro 1.3.

	O QUE ?	POR QUE ?	QUEM ?	ONDE ?	COMO ?	QUANDO ?			
						M7	M8	M9	M10
1	Retrabalho da camada de comunicação cliente-servidor	Aumentar a robustez do envio das transações da estação para o servidor	Engenharia de Software	Centro de Desenvolvimento de Aplicativos	Implementando novos controles para garantia da transmissão				
2	Implementar a transferência do arquivo via socket TCP/IP	A transferência atual via FTP não possui níveis de checagem	Engenharia de Software	Centro de Desenvolvimento de Aplicativos	Reescrevendo o programa de transferência				
3	Corrigir falhas de programa nas implementações recentes	Existe falha localizada de sincronismo cliente e servidor	Engenharia de Software	Centro de Desenvolvimento de Aplicativos	Reprodução do problema em laboratório e correção				
4	Inspeção da rede lógica	Instabilidades podem gerar mau funcionamento dos equipamentos	Assistência Técnica	Nas UNIDADES	Revisando ativos de rede e configurações	Na próxima visita mensal da manutenção preventiva conforme programação do departamento técnico.			
	Verificação da rede elétrica e no-break	Problemas elétricos geram mau funcionamento dos equipamentos			Solicitando técnicos acompanhamento dos técnicos da elétrica do cliente.				

Quadro 1.3 - Plano de ação

Em paralelo ao plano, estabeleceu-se um procedimento no SN2 para, na segunda abertura consecutiva de um chamado de uma mesma UNIDADE e estação, procurar identificar alguma causa especial e tratá-la. O grupo de trabalho forneceu uma lista de verificação para apoiar esta atividade, com itens como verificação de versão de programa, levantamentos de possíveis problemas de *hardware* na estação e etc.

1.4.4.5 ETAPA 5 - Ação (DO)

O plano foi implementado com um pouco mais de 1 mês de atraso, pois a complexidade demandou um esforço maior do que o planejado.

Após a implantação das UNIDADES piloto e observação da estabilidade da solução, iniciou-se a atualização do aplicativo nas demais UNIDADES.

A partir do término da atualização, acompanhou-se o ID para avaliar a importância relativa do problema e decidir pela continuidade ou não dos esforços.

1.4.4.6 ETAPA 6 - Verificação (CHECK)

Na Tabela 1.5 e Gráfico 1.6, apresenta-se o ID nos 4 meses posteriores à padronização.

Tabela 1.5 - Índice de Discrepância do período do mês 12 ao mês 15

	Mês 12	Mês 13	Mês 14	Mês 15	Média	Desvio Padrão
QCD	308	259	250	230	262	33
QTC	2.431	2.215	1.938	2.056	2.160	213
ID	12,67%	11,69%	12,90%	11,19%	12,11%	0,81%

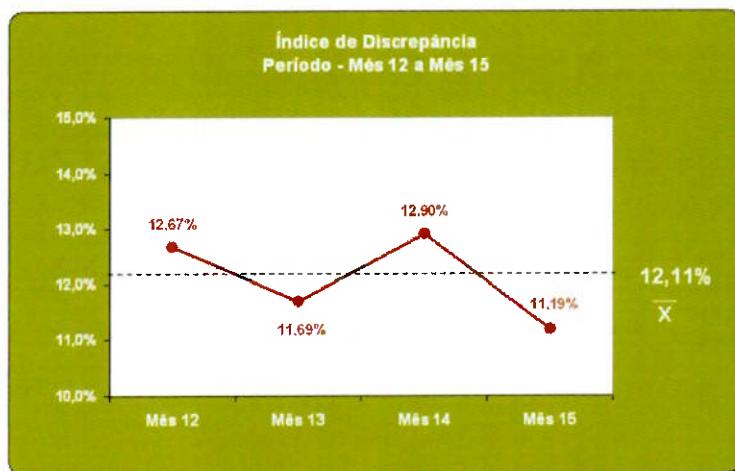


Gráfico 1.6 - Índice de Discrepância no período do mês 12 ao mês 15

1.4.4.7 ETAPA 7 - Padronização (ACT)

Como não houve alteração na interface do aplicativo com o usuário, não ocorreram atividades de treinamento para os usuários com a nova versão do aplicativo.

O ID foi estabelecido como um índice oficial com o acompanhamento mensal, juntamente com a quantidade total de chamados.

O CLIENTE estabeleceu padrões para o preenchimento do diário de bordo na quebra de equipamentos, para que o operador noturno esteja preparado para tratar a discrepância decorrente sem abrir chamado na CS.

O procedimento de investigação das estações com reincidência de Discrepâncias pelo SN2 foi padronizado no atendimento.

1.4.4.8 ETAPA 8 - Conclusão (ACT)

A meta de redução do ID para 5% não foi atingida. Entretanto, a importância relativa da Discrepância diminuiu, com o ID médio passando de 24,4% para 12,1%, nos dois períodos de comparação.

A média da quantidade total de chamados passou de 2.511 para 2.160, ou seja, uma redução de 14% podendo indicar uma melhoria de todo o cenário.

A média da Discrepância passou de 613 para 262 chamados com 57% de redução, implicando em uma expectativa de redução de 263 horas mensais de atendimento com este grupo.

Acredita-se ter tratado causas crônicas no sincronismo cliente-servidor e, quanto ao problema de Transferência, não foram registrados novos chamados.

Em paralelo, o ciclo PDCA deve continuar em movimento, com a análise de novas oportunidades de melhoria e ações decorrentes que poderão incluir novamente a aplicação do MASP.

1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta foi uma primeira tentativa de aplicação do MASP para atendimento das expectativas do CLIENTE com relação à melhoria do produto X e consequente redução da quantidade de chamados. Para as próximas, há muitos pontos a serem aperfeiçoados, principalmente no que tange à objetividade na verificação das hipóteses para confirmação das causas mais prováveis. Neste estudo, muitas vezes, prevaleceu a experiência dos profissionais, até mesmo pelas limitações no acesso às informações e coleta de dados.

A Estatística Descritiva foi de fato a base para a aplicação do MASP, através de tabulações, gráficos e medidas. Entretanto, deve-se observar as dificuldades na coleta de informações, que às vezes passam pela falta de ferramentas adequadas para registro e tabulação, pelas distâncias geográficas que dificultam visitas aos locais de ocorrência dos problemas, etc. Estas barreiras devem ser superadas com soluções alternativas, como o sistema para coleta pelos atendentes de informações complementares que foi implementado neste estudo.

Deve-se enfatizar também, a importância da cooperação entre os departamentos de gerências distintas. Neste caso, a cooperação do departamento de suporte foi fundamental para que o departamento de produto pudesse dispor das informações necessárias para a aplicação do MASP.

A próxima etapa é analisar as novas oportunidades de melhoria do produto X e definir com o CLIENTE, o que deverá ser trabalhado na seqüência. É claro, sem deixar de monitorar as melhorias já implementadas para garantir que continuem efetivas.

2 ESTUDO DE CASO 2 – ARGAMASSA COLANTE

Este estudo apresenta o uso da Estatística Inferencial para melhoria do produto Y, uma argamassa colante, produzida pela empresa Beta. Este produto é utilizado para assentamentos de placas em pisos e paredes, tais como: porcelanatos, granitos, mármores, cerâmica e azulejos, sendo amplamente utilizado na construção civil e atendendo a diversos requisitos como: deslizamento, resistência à aderência e tempo de secagem e etc.

No desenvolvimento deste trabalho, a melhoria da qualidade deste produto foi focada apenas no requisito de deslizamento, que é a resistência ao deslocamento de uma placa assentada, como por exemplo, o deslocamento vertical de um azulejo após ser fixado em uma parede com argamassa.

Do ponto de vista da Qualidade, o deslizamento é uma característica que impacta a produtividade do pedreiro. Quando não é considerada no desenvolvimento do produto, ocorre o deslizamento desordenado no assentamento da peça na obra, dificultando o trabalho e reduzindo a produtividade. Para um pedreiro que ganha por tarefa executada, a velocidade de assentamento é um fator muito importante.

Quando o produto apresenta deslizamento excessivo, o pedreiro pode até reduzir a quantidade de água na argamassa para deixá-la mais seca e assim as peças não deslizarem ou utilizar espaçadores (delimitadores de juntas). Porém, estes acertos são apenas paliativos. No caso da redução da água, haveria outros problemas, como a secagem muito rápida da argamassa impossibilitando a fixação da placa na superfície. Assim, se a argamassa não apresentar um conjunto de características que facilitem e contribuam com o aumento de produtividade na aplicação da cerâmica ou azulejo, o pedreiro pode recomendar outra marca com aplicabilidade melhor. Em muitos casos, seja em pequenas ou em grandes obras, a opinião do aplicador muitas vezes influencia na escolha da argamassa a ser comprada.

Pela importância deste requisito da qualidade da argamassa, ensaios foram desenvolvidos para reproduzir em laboratório as condições de obra. Além de contemplados na NBR 14081 (ABNT, 2004), norma que descreve os requisitos para argamassas colantes, este produto também é acompanhado pelo Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), programa que controla a conformidade dos produtos para Construção Civil de empreendimentos financiados. Este programa é um instrumento do Governo Federal que tem o objetivo organizar o setor da construção civil em torno de duas questões principais: a melhoria da qualidade do habitat e a modernização produtiva.

A empresa Beta, eventualmente utiliza um laboratório externo (B) para a realização destes ensaios. Surgiu a necessidade de avaliar a capacidade deste laboratório em reproduzir a metodologia utilizada pelo laboratório interno (A), para garantir a equivalência destes para o ensaio de deslizamento.

2.1 OBJETIVO

Pretendeu-se com este estudo, aplicar técnicas estatísticas para comparar os ensaios de deslizamentos realizados pelos laboratórios A e B.

Escolheu-se o teste *t* de Student, para testar a hipótese de igualdade das médias dos resultados dos ensaios de deslizamento para uma mesma batelada de argamassa: $H_0: \mu_A = \mu_B$ versus $H_1: \mu_A \neq \mu_B$.

Caso a hipótese de igualdade das médias fosse rejeitada ao nível de significância de 5%, uma análise para identificação da causa raiz da possível falta de equivalência entre os laboratórios seria realizada.

2.2 REVISÃO DA LITERATURA

Uma consulta às normas vigentes NBR 14081 (ABNT, 2004), NBR 14082 (ABNT, 2004) e a NBR 14085 (ABNT, 2004) foi realizada para o estudo da metodologia aplicada pelos laboratórios para o ensaio de deslizamento. Em síntese, estas normas definem um conjunto de procedimentos para apuração de uma média de 6 medidas de deslizamentos, considerada conforme quando inferior a 0,7mm.

Em Calegare (2001), encontrou-se a teoria referente à Estatística Inferencial para testes de hipóteses sobre parâmetros das populações tais como a média de variáveis aleatórias. Nesta literatura, encontramos os passos para a formulação de um teste de hipótese:

- a) enunciar a Hipótese Nula (H_0) e a uma Hipótese Alternativa (H_1);
- b) estabelecer o limite do erro tipo I (α);
- c) determinar a variável do teste;
- d) determinar a região crítica ou de rejeição de H_0 ,
- e) calcular o valor da variável deste teste, com os dados obtidos nas amostras,
- f) compara-se o valor obtido em (e), com a região crítica determinada em (d); e
- g) tomar a decisão: aceitar ou rejeitar H_0 .

Em Bussab (2002), encontrou-se o teste de hipótese t de Student para a inferência da igualdade das médias de uma variável aleatória em duas populações com base em amostras independentes. Entretanto, o autor chama a atenção para os requisitos desta técnica estatística:

O teste t baseia-se na suposição de que as populações P_1 e P_2 sejam normais. Uma violação dessa suposição altera a distribuição da estatística usada no teste e muda a probabilidade dos erros de tipo I e II. Dizemos que um teste é robusto contra a violação de uma suposição se suas probabilidades de erro tipo I e II não são afetadas de forma apreciável pela violação. (BUSSAB, 2002, p. 374)

Como o ensaio de deslizamento é baseado em leituras de medições, consultou-se a norma NBR ISO TR 10017 (ABNT, 2000) sobre este tema. Encontrou-se que: "A análise de medição (também chamada de sistema de medição) é um conjunto de procedimentos para avaliar a incerteza de um sistema de medição de acordo com as

condições na qual o sistema opera. Esta técnica avalia o grau de confiabilidade pré-estabelecido e se está de acordo com seus fins. Erros de medição também podem ser analisados usando os mesmos métodos que são usados para análise de características de produtos".

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

A Empresa Beta é uma empresa multinacional de grande porte que atua na área de produtos para construção civil e atualmente possui mais de 900 funcionários distribuídos em mais de 12 unidades produtivas. Possui, também, três minerações e sete centros de distribuição, estrategicamente instalados nas principais capitais ou pólos industriais do Brasil. A matriz está localizada na Grande São Paulo.

Seu principal produto vendido no Brasil é uma argamassa de base cimentícia que promove a aderência de peças cerâmicas. Esta indústria possui, além desta argamassa de assentamento, mais de 45 produtos para construção civil. Seus principais clientes são revendas, que fornecem os produtos para o varejo, e construtoras.

A Empresa Beta fabrica uma linha completa de argamassas para múltiplas aplicações, desenvolvidas para o atendimento das necessidades do mercado de construção civil. Elas combinam qualidade e tecnologia de ponta, garantindo alto rendimento e excelentes resultados finais. A principal vantagem dos produtos da linha é a facilidade de preparo, pois a argamassa já vem pronta para o uso no canteiro de obra, sendo necessária apenas a adição de água.

Os produtos se dividem em quatro principais linhas: argamassas colantes, destinadas ao assentamento de peças cerâmicas, argamassas de rejuntamento, destinadas ao rejuntamento de peças cerâmicas, argamassas de revestimento, utilizadas para revestimento de paredes e argamassas técnicas, destinadas a usos mais específicos e de alto desempenho, como grautes, impermeabilizantes, chapiscos e argamassas para assentamento de bloco de vidro e refratários.

2.4 METODOLOGIA

2.4.1 Metodologia do Ensaio de Deslizamento

O ensaio de deslizamento consiste na aplicação de uma porção de argamassa, sobre uma placa de concreto desempenada (substrato padrão) na posição horizontal. Após 2 minutos, são colocadas três peças de porcelanato (corpos de prova) no sentido transversal ao aplicado e colocam-se os pesos de 50kN sobre as peças por 30 segundos. A Figura 2-1 apresenta o aparato para o ensaio de acordo com a NBR 14085 (ABNT,2004)

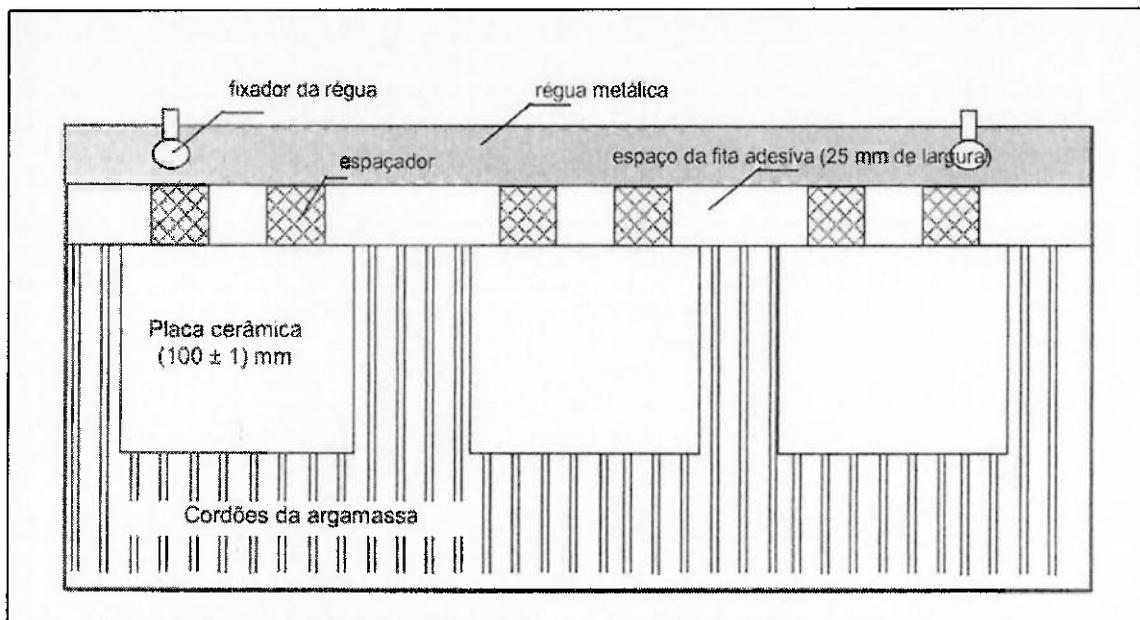


Figura 2-1 - Aparato para o ensaio de deslizamento

Retiram-se os pesos e realizam-se medições (L_i) em dois pontos distintos de cada peça de porcelanato da sua posição em relação à borda da placa. Levanta-se a placa por 20 minutos e após este período, com cuidado, coloca-se a placa na posição horizontal novamente. Em cada peça, realizam-se duas novas medidas (L_f) da sua posição final. A Figura 2-2 mostra a indicação do local para a leitura das medidas.

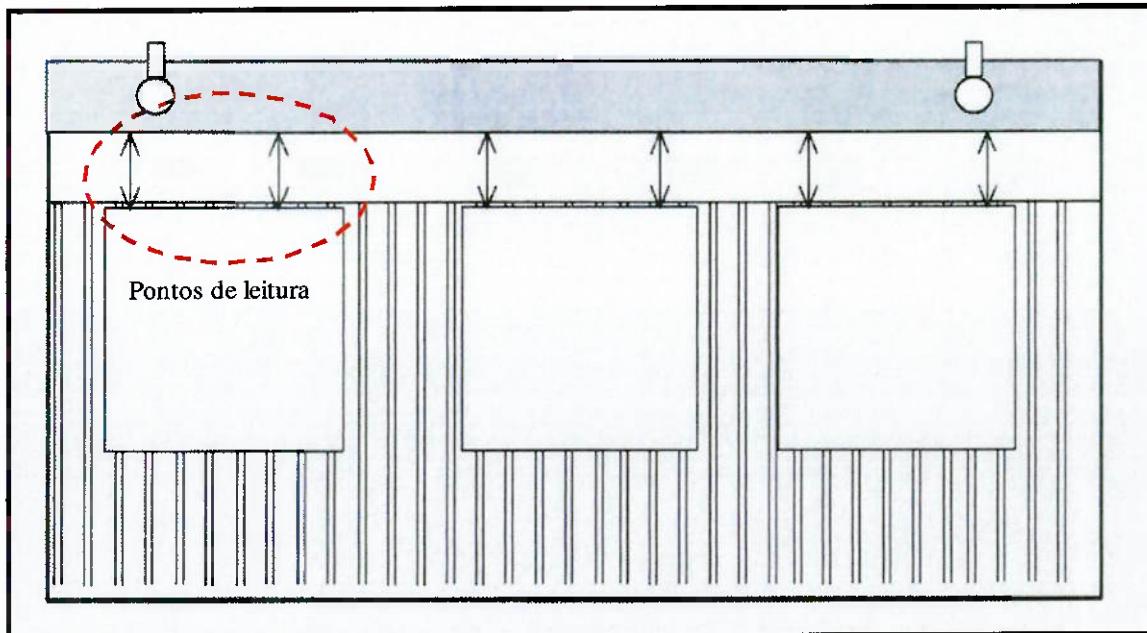


Figura 2-2 - Indicação dos pontos para as medidas de posição das placas

Calcula-se o deslizamento médio de posição (L) das três placas como a média dos 6 deslizamentos ($L_f - L_i$) apurados no ensaio, mediante a seguinte fórmula:

$$L = \frac{\Sigma(L_f - L_i)}{6}$$

Expressa-se o resultado L em milímetros, com aproximação da primeira decimal.

Caso L seja superior a 0,7mm, a argamassa é considerada não conforme.

Neste estudo, para cada um dos 2 laboratório, este ensaio foi repetido 5 vezes, resultando em um total de 10 valores para L

Na Figura 2.3, encontra-se o modelo de coleta de dados do ensaio.

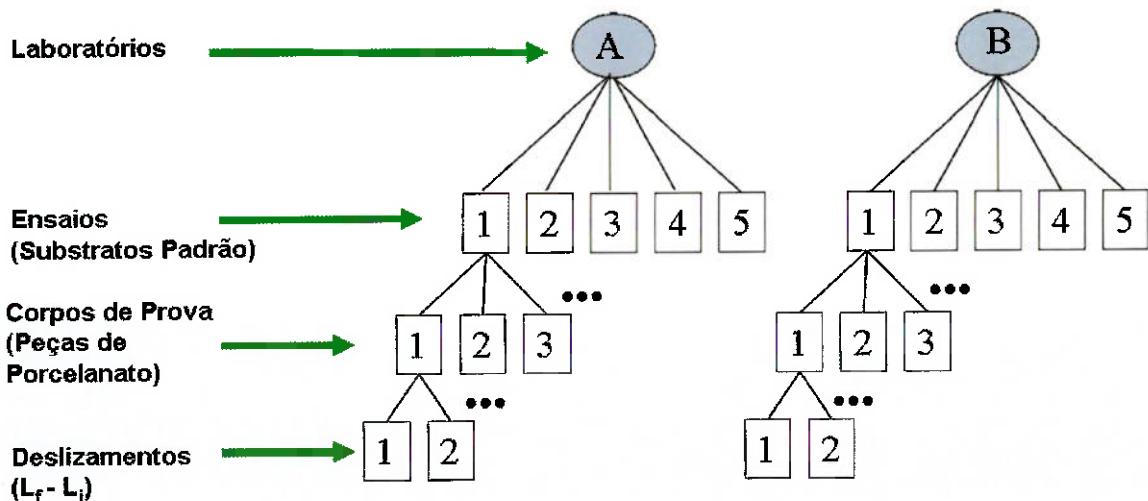


Figura 2-3 - Modelo para coleta de dados

2.4.2 Materiais utilizados no ensaio

- ✓ Uma amostra de argamassa de 300 kg retirada da produção e homogeneizada para o ensaio nos dois laboratórios.
- ✓ Substrato padrão conforme NBR 14082 (ABNT, 2004) – placa de concreto.
- ✓ Corpos de prova: três peças de porcelanato com lado (100 ± 1) mm do grupo de absorção Bla (absorção $\leq 0,5\%$) de acordo com a ABNT NBR 13817, com massa individual de (195 ± 5) g.

2.4.3 Aparelhagem

- ✓ Aparelhagem de mistura conforme NBR 14082 (ABNT, 2004).
- ✓ Régua metálica rígida e aparelhada, com cerca de 500 mm de comprimento.
- ✓ Fita adesiva de aproximadamente 25 mm de largura
- ✓ Seis espaçadores de material rígido, com formato de pastilha quadrada de (25 ± 1) mm e espessura de (10 ± 1) mm.

- ✓ Massa padrão de material sólido, rígido, de $(5 \pm 0,01)$ kg e com base de seção de apoio de formato quadrado com lado de aproximadamente 100 mm.
- ✓ Paquímetro com resolução mínima de 0,1 mm.
- ✓ Dispositivo de fixação para prender firmemente a régua metálica rígida ao substrato padrão.
- ✓ Desempenadeira metálica denteada (6x6x6) mm
- ✓ Cronômetro digital.

2.5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO ENSAIO

2.5.1 Execução do ensaio

Conforme mostrado nas Figuras 2-4 e 2-5, prendeu-se uma régua metálica contra a borda longitudinal do substrato padrão, mediante dispositivo de fixação, de modo que os lados da régua e do substrato ficassem coincidentes. Devia-se garantir a condição de horizontalidade da borda inferior da régua, quando o substrato padrão fosse colocado na posição vertical.



Figura 2-4 - Placa substrato padrão

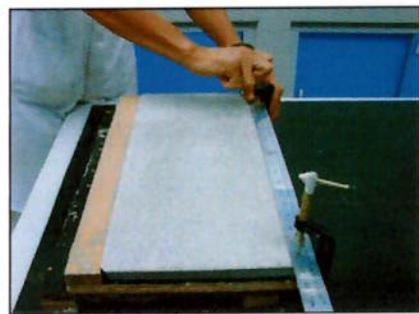


Figura 2-5 - Presilhas

Colou-se uma fita adesiva longitudinalmente sobre o substrato padrão, de modo que as arestas da fita ficassem rentes à régua com objetivo de preservar a limpeza da parte superior do substrato. Ou seja, quando a fita adesiva fosse retirada, o substrato estaria com a parte superior limpa para colocação dos espaçadores que delimitariam o espaço para os corpos de prova.

Conforme Figura 2-6, aplicou-se a argamassa sobre o substrato limpo na posição horizontal, tomando as precauções para que a argamassa ficasse sobreposta ligeiramente à fita adesiva e para que os cordões (sulcos formados pela ferramenta de aplicação na argamassa) ficassem perpendiculares à régua metálica.

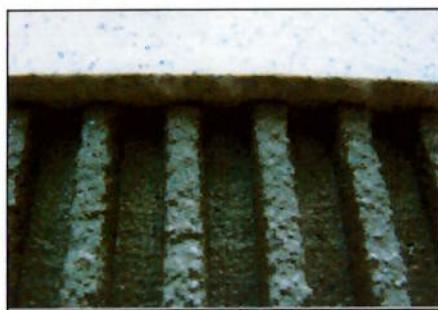


Figura 2-6 - Detalhes dos cordões

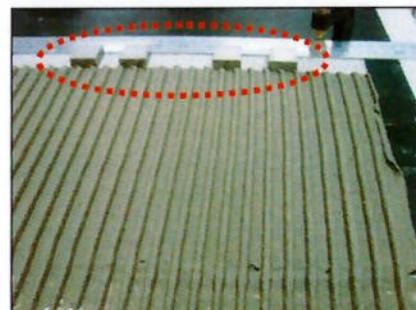


Figura 2-7 - Espaçadores

Retirou-se a fita adesiva e imediatamente foram posicionados dois espaçadores para cada corpo de prova, separados aproximadamente em 25 mm entre si e encostados contra a régua metálica, conforme Figura 2-7.

Após 2 minutos da aplicação, foram posicionados os três corpos de prova pelo lado do tardoz (face de assentamento) em contato com a argamassa, de modo que uma das suas arestas ficasse encostada e centralizada contra os espaçadores. Posicionaram-se cuidadosamente pesos (massas padrão) sobre as placas, retirados após 30 segundos. Esta etapa é mostrada nas Figuras 2-8 e 2-9.

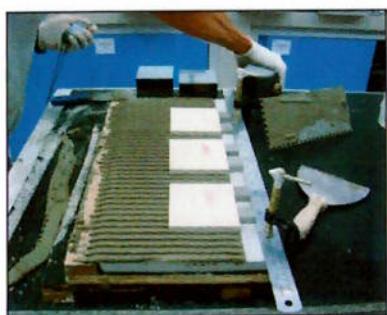


Figura 2-8 - Corpos de prova



Figura 2-9 - Massas padrão

Em cada corpo de prova, retiraram-se cuidadosamente os espaçadores e mediu-se com o paquímetro a distância entre a borda do corpo de prova e a régua metálica em dois pontos (Li) – vide Figura 2-10.

A seguir, colocou-se o substrato padrão na posição vertical - vide Figura 2-11.

Decorridos 20 minutos da leitura inicial, retornou-se o substrato padrão à posição horizontal e mediu-se novamente a distância nos mesmos pares de pontos (Lf).

Registraram-se os valores com aproximação de uma casa decimal, concluindo-se o ensaio.



Figura 2-10 - Leitura

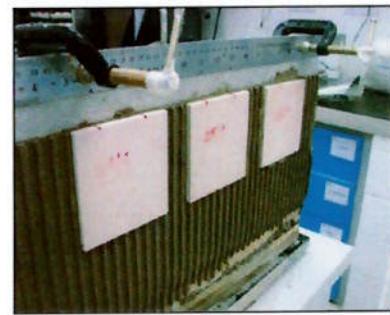


Figura 2-11 - Placa na vertical

2.5.2 Resultados

A Tabela 2-1 mostra os resultados obtidos nas cinco repetições, realizadas em cada laboratório A e B.

Tabela 2-1 - Resultados do ensaio de deslizamento

Laboratório	Medidas dos Deslizamento (mm)							Estatísticas			
	Ensaios	Corpo de Prova						Ensaios (n = 6)		Laboratórios (n = 30)	
		1		2		3		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
		Deslizamentos (Lf - Li)									
A	1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,20	0,09	0,18	0,08
	2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,22	0,04		
	3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,07	0,05		
	4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,23	0,05		
	5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,18	0,08		
B	1	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,34	0,09	0,25	0,06
	2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,22	0,06		
	3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,22	0,02		
	4	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2	0,25	0,08		
	5	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,23	0,03		

Pelo histórico da unidade fabril que forneceu a argamassa, se esperava que esta fosse conforme e isto foi confirmado, em ambos os laboratórios, com resultados bem inferiores a 0,7mm.

Conforme Tabela 2-1, podemos notar que a princípio as médias pareciam próximas e podiam dar o entendimento de equivalência dos laboratórios.

O laboratório A obteve valores entre 0,0 mm a 0,3mm, com amplitude de 0,3mm que representava 43% do limite de especificação de conformidade de 0,7mm da norma.

O laboratório B obteve valores entre 0,2mm a 0,4mm, com amplitude de 0,2mm que representava 28% do limite de especificação de conformidade de 0,7mm da norma.

2.6 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS ESTATÍSTICOS

2.6.1 Teste *t* de Student

Para utilização do teste de hipótese *t* de Student para comparação das médias dos deslizamentos dos dois laboratórios, primeiro testou-se a normalidade das distribuições nos laboratórios A e B. Para tanto, utilizou-se o teste de normalidade de Anderson Darling, através do *software* estatístico Minitab.

No Gráfico 2-1, apresentamos a aplicação deste teste no laboratório A.

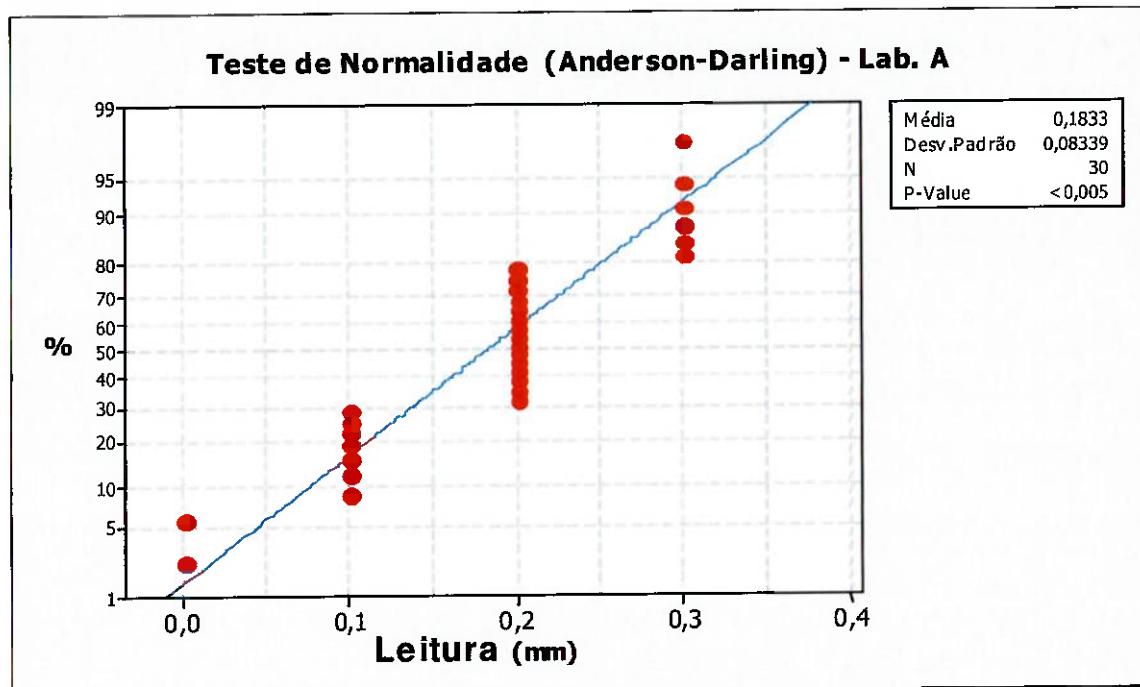


Gráfico 2.1 - Teste de normalidade do laboratório A

Ao nível de significância de 0,05, rejeitou-se a hipótese de normalidade com *p-value* < 0,005.

No Gráfico 2-2, apresentamos a aplicação deste teste no laboratório B.

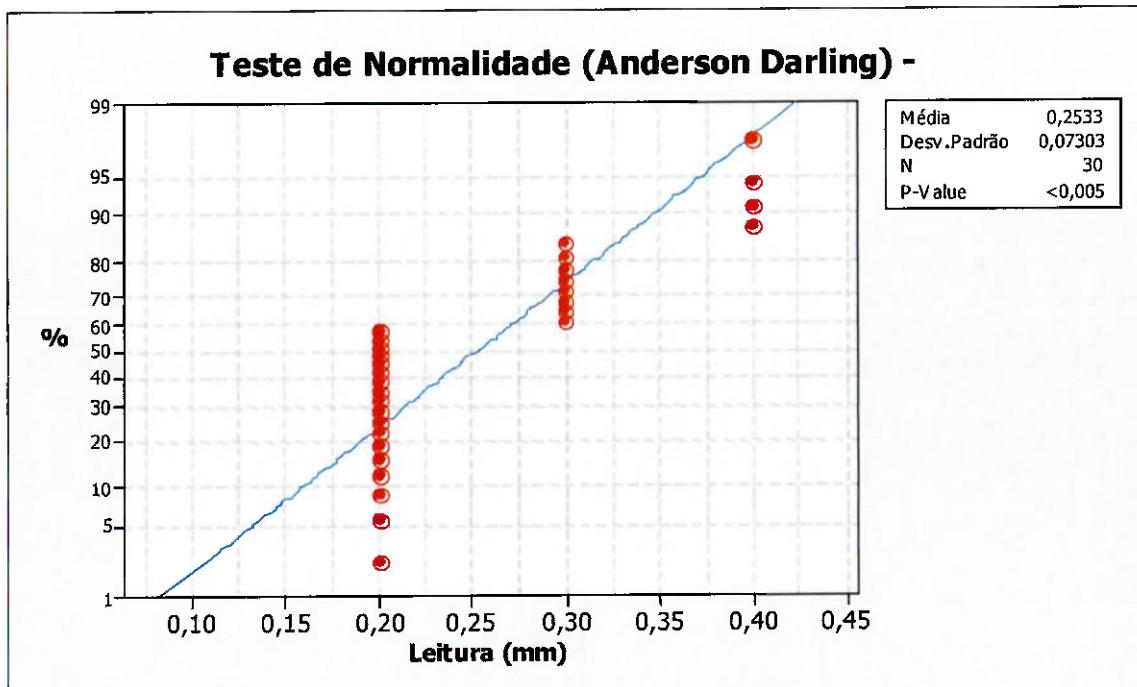


Gráfico 2.2 - Teste de normalidade do laboratório B

Para o laboratório B, também rejeitou-se a hipótese de normalidade com $p\text{-value} < 0,005$.

Segundo Pyzdek (2003, p. 494), quando a distribuição é normal os pontos são distribuídos em uma reta de 45° , o que não foi verificado nos gráficos dos testes de normalidade dos laboratórios, confirmando-se a ausência de normalidade.

Desta forma, constatou-se que o teste t de Student não poderia ser aplicado para o comparativo das médias dos deslizamentos dos laboratórios. Como alternativa, efetuou-se a análise descritiva dos dados a procura de indícios estatísticos para avaliação da equivalência entre os laboratórios.

Em Pyzdek (2003, p. 495), encontram-se alternativas para dados não normais, tais como: transformação dos dados, utilização de outras distribuições estatísticas ou técnicas não paramétricas. Entretanto, estes recursos estão fora do escopo deste estudo.

2.6.2 Análise descritiva

Na Tabela 2-2 e no Gráfico 2-3, apresentam-se as estatísticas descritivas dos deslizamentos medidos nos laboratórios A e B.

Tabela 2-2 - Análise estatística descritiva dos deslizamentos (mm)

Laboratório	n	Locação			Dispersão				Formato	
		Média	Mediana	Moda	Mínimo	Máximo	Amplitude	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose
A	30	0,18	0,20	0,20	0,00	0,30	0,30	0,08	-0,32	-0,30
B	30	0,25	0,20	0,20	0,20	0,40	0,20	0,06	1,02	-0,30
A e B	60	0,22	0,20	0,20	0,00	0,40	0,40	0,09	-0,01	0,53

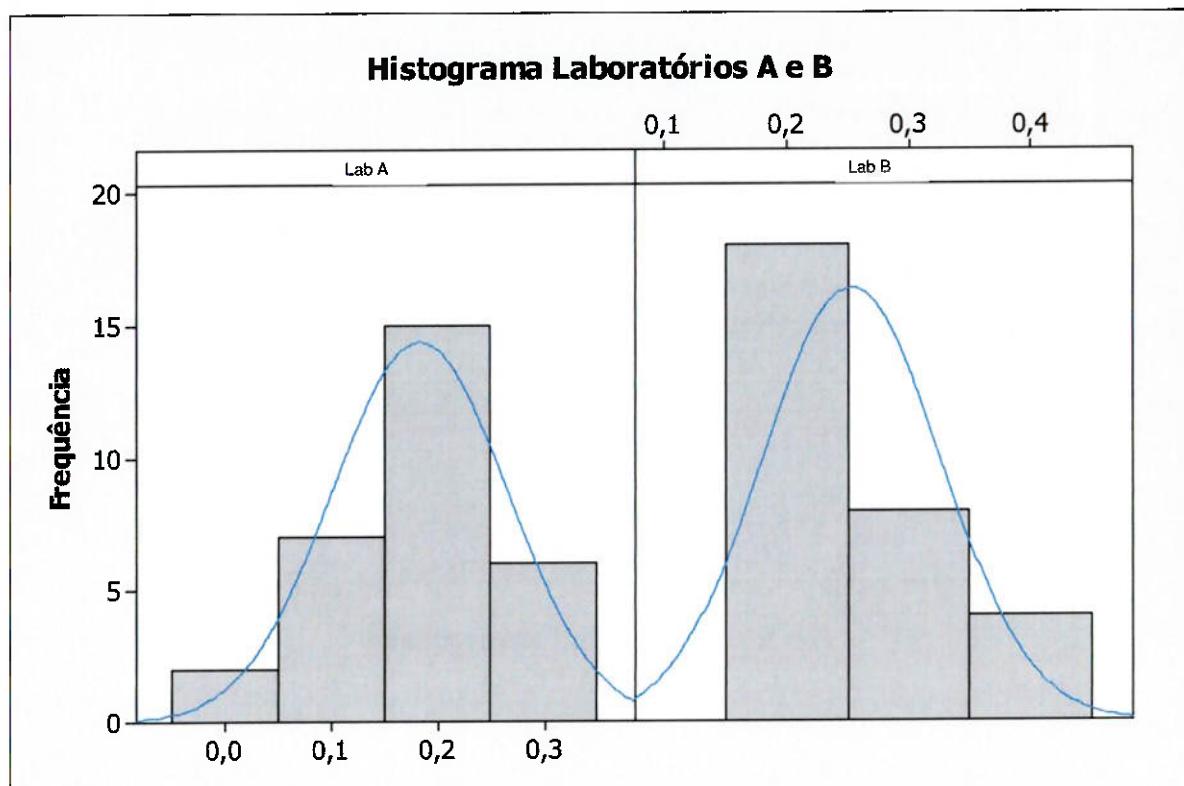


Gráfico 2.3 - Histograma dos deslizamentos dos laboratórios A e B

Primeiramente, analisou-se a representatividade das médias dos 30 deslizamentos de cada laboratório. O laboratório A apresentou a menor média com 0,18mm, porém, com o maior desvio padrão de 0,08mm, correspondendo a 44% da sua média. Por sua vez, o laboratório B apresentou a média maior com 0,25mm e com o menor desvio padrão de 0,06mm, correspondendo a 24% da sua média. Portanto, concluiu-se que a média do laboratório B era mais representativa do que a do laboratório A. Entretanto, observou-se que a média do laboratório B era 28% maior do que a do outro laboratório, indicando talvez um maior deslizamento.

Ambos os laboratórios apresentaram a mesma moda de 0,2mm, sendo que no laboratório A freqüência deste deslizamento foi de 15 vezes (50%) e no B de 17 vezes (57%), indicando uma tendência para este valor.

Segundo Pyzdek (2003, p. 370), uma medida de assimetria igual a zero indica uma simetria perfeita como a da curva normal. Se for negativa, assimetria para a esquerda da média e se for positiva, para a direita.

A medida da assimetria dos 30 deslizamentos do laboratório A foi de -0,32 indicando que a cauda da sua distribuição estava mais alongada para o lado esquerdo da média (assimétrica à esquerda). Para o laboratório B, esta medida foi de 1,02 indicando o alongamento para o lado direito da média (assimétrica à direita). Ou seja, para ambos os laboratórios havia indícios de distribuições assimétricas dos deslizamentos, confirmando a ausência de normalidade. Observou-se também que o laboratório B apresentava uma assimetria bem maior do que a do laboratório A, porém no sentido contrário. Isto também poderia sinalizar alguma falta de equivalência entre os laboratórios.

A medida da curtose, tanto para o laboratório A quanto para o B, foi de -0,30 e, conforme Pyzdek (2003, p. 370), bem inferior ao esperado de 3 para uma distribuição normal.

A mediana foi de 0,20mm coincidindo com a moda que indicava aproximadamente 50% de concentração de deslizamentos neste valor. Entretanto, as medidas de assimetria mostram que os outros 50% restantes estavam tendendo para lados opostos da mediana da distribuição. Isto ficou evidente quando analisamos os 60 deslizamentos dos dois laboratórios em conjunto e obtivemos uma assimetria quase

igual a zero. Ou seja, praticamente obtivemos a simetria. Porém, como a curtose de 0,53 ainda está muito distante de 3, a ausência da normalidade persiste nos laboratórios analisados em conjunto, conforme Pyzdek (2003, p. 370).

Com base na análise isolada das estatísticas acima para os laboratórios A e B não encontramos indícios estatísticos fortes de equivalência entre ambos. O laboratório B apresentou uma tendência para um deslizamento maior com variabilidade menor para uma mesma batelada de argamassa.

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi uma primeira tentativa de aplicação de uma técnica estatística inferencial e paramétrica pela sua autora. Um aprendizado importante foi a necessidade de validar os requisitos de uma técnica estatística antes de empregá-la, neste caso a normalidade dos dados. Caso isto não tivesse sido feito, correria-se o risco de obter uma conclusão de consistência questionável.

O ensaio de deslizamento mostrou uma complexidade muito maior do que a inicialmente avaliada, pois se percebeu que este era impactado por uma grande quantidade de variáveis não controláveis, tais como a habilidade do operador.

Apesar das dificuldades encontradas, a análise descritiva foi uma alternativa de baixa complexidade que embasou a conclusão de que os laboratórios não pareciam equivalentes neste estudo. Como se utilizou uma batelada única de argamassa, a divergência poderia ser explicada pelos fatores abaixo:

- ✓ diferenças no controle de condições de temperatura e umidade no local de ensaio;
- ✓ corte do corpo de prova do porcelanato e verificação do peso;
- ✓ diferenças entre corpos de prova como: fabricante, peso, superfície e absorção;
- ✓ perpendicularidade do aparato para acomodação da placa substrato padrão;

- ✓ nivelamento da bancada;
- ✓ planicidade da desempenadeira e tamanho dos dentes 6x6x6mm;
- ✓ após 10 ensaios ocorre a impregnação do tardoz (superfície de aplicação) do corpo de prova;
- ✓ limpeza e secagem dos corpos de prova;
- ✓ interferência da rugosidade dos substratos e planicidade; e
- ✓ quantidade de argamassa entre cordões;

Observou-se também, que este ensaio é um método manual sem qualquer nível de automação, comprometendo a sua exatidão.

Recomenda-se uma implementação simples no ensaio para aumentar a precisão da leitura das medidas com paquímetro no mínimo com duas casas decimais. Neste estudo, os deslizamentos praticamente eram discretas com cinco valores variando de 0,0mm a 0,4mm. Isto pode ter sido um fator limitante para a utilização de técnicas estatísticas paramétricas com distribuição contínua como a normal.

Para o aperfeiçoamento deste trabalho, sugere-se a consulta a um estatístico profissional para a aplicação de técnicas não paramétricas, com o intuito de validar se as conclusões deste estudo podem ser generalizadas com um nível de significância aceitável.

3 ESTUDO DE CASO 3 - SOLUÇÕES QUÍMICAS

A partir dos parâmetros históricos de um processo de mistura de uma solução química, será demonstrada a possibilidade da utilização da técnica de operação evolutiva (*EVOP*) e, caso não seja alcançado um ponto ótimo de processo um delineamento de experimentos completo (*DOE*) será empregado.

O resultado desejado com este estudo é: variando-se de forma controlada os fatores de entrada temperatura e tempo de agitação do produto Z, obtenha-se a saída solubilidade com o menor tempo possível sem prejudicar a qualidade final do material.

Este experimento foi baseado em uma situação real da Empresa Gama, multinacional de médio porte que atua no ramo químico e produz certo produto Z, considerado gargalo de produção por gastar oito horas em seu processo de dissolução e filtração.

Este processo é constituído de uma mistura de componentes diversos a uma temperatura de 50°C. A solubilidade é controlada pelo teor de sólidos que deve variar entre 21% e 23% e pela análise visual que deve ser livre de partículas em suspensão. Após a conclusão deste teste de liberação, é feito um teste prático de deposição e alguns elementos críticos são analisados para aprovação final do produto. Neste estudo, somente o teor de sólidos, densidade, resíduos e teste prático foram parâmetros de controle.

Analizando o caso sob o foco do cubo de dificuldades, têm-se as seguintes classificações:

- ✓ dimensão analítica: tem-se um problema, e uma solução ou proposta será apresentada para resolvê-lo;
- ✓ dimensão conceitual: conceito simples e direto com duas áreas envolvidas - Controle da Qualidade e Manufatura; e
- ✓ dimensão de apresentação: razoável quantidade de informação, principalmente de detalhes fabris e resultados de testes, alguns irrelevantes, mas importantes para ilustração do caso.

3.1 OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi a redução das horas gastas no processo de dissolução e filtração de um produto químico sem interferir nas características finais do mesmo.

O processo possui alguns fatores de entrada, controláveis e não controláveis que impactam na saída tempo total. Neste estudo, pretendeu-se atuar em dois fatores controláveis: temperatura e tempo de agitação.

A técnica de delineamento *EVOP* foi preferida por ser menos dispendiosa que o *DOE* completo.

3.2 REVISÃO DA LITERATURA

O tema delineamento de experimentos é muito amplo e existem diversas literaturas que abordam o assunto, porém, pela particularidade do caso, uma indústria química que fornece insumos para diversas áreas, inclusive eletrônica, a pesquisa de literatura se direcionou para Montgomery (2001), primeiramente pela extensa experiência do autor que é consultor e consegue transmitir sua vivência na aplicação do *DOE* em empresas como Motorola, AT&T, IBM, Lucent Technologies, Dow Chemical, Monsanto Chemicals que são clientes ou fornecedores da organização em questão. Também se optou por esta literatura, pelo seu foco direcionado à prática da metodologia em processos, conforme o autor destaca:

O livro fala sobre o planejamento e condução de experimentos e sobre a análise dos dados resultantes que validam as conclusões objetivas obtidas. Nosso foco está nos experimentos na engenharia, física e ciências químicas. Na engenharia, a experimentação tem uma importante função na elaboração de novos produtos, desenvolvimento de processos de manufatura e melhoria de processos. O objetivo em muitos casos deve ser o de desenvolver um processo **robusto**, isto é, um processo afetado minimamente por fontes externas de variabilidade (MONTGOMERY, 2001, p.1)

Porém, apesar do vasto material disponível, uma visão mais profunda do *DOE* como meio para resolução de problemas é importante para se alcançar o objetivo deste trabalho, que é relacionar a Estatística com as ferramentas da Qualidade. Para isso, o Six Sigma é uma excelente metodologia e este complemento foi adquirido através

da consulta a Breyfogle III (2003) e de notas de aula adquiridas durante treinamento ministrado pela Companhia Gama em 2004.

Para o tema Operações Evolutivas (EVOP), novamente Montgomery (2001) foi consultado.

EVOP consiste em sistematicamente introduzir pequenas mudanças nos níveis de operação das variáveis sob consideração. Normalmente, um experimento 2^k é empregado para fazer isso. As mudanças nas variáveis são assumidas para serem pequenas suficientes que sérios distúrbios em rendimento, qualidade ou quantidade não ocorrerão, e ainda grandes o suficiente para que melhorias potenciais no desempenho do processo possam eventualmente ser descobertas. Os dados são coletados nas variáveis de resposta de interesse em cada ponto do experimento 2^k . Quando uma observação é tirada de cada ponto do experimento, um **ciclo** é considerado completo. Os efeitos e interações das variáveis do processo são então computadas. Eventualmente, depois de muitos ciclos, o efeito de um ou mais variáveis do processo ou suas interações devem ter um efeito significante na resposta. Neste posto, uma decisão deve ser tomada para modificar as condições básicas de operação para melhoria da resposta. Quando as condições de melhoria são identificadas, uma fase é considerada completa. (MONTGOMERY, 2001, p.484)

E também Calegare (2001) que, de uma maneira prática e direta, descreve como planejar e implementar esta técnica e ressalta a utilização desta metodologia pelas suas vantagens de custo, tempo e não parada de produção.

3.3 DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS (DOE)

Por vezes, o defeito do produto ou processo pode estar associado a um fator não claramente identificado e um experimento é requerido para análise da causa raiz

Segundo Montgomery (2001), um experimento pode ser definido como um teste ou uma série de testes onde mudanças propositais são feitas nas variáveis de entrada de processo ou sistemas para que possa ser observado o comportamento na resposta deste processo. O objetivo muitas vezes é obter um processo robusto, afetado minimamente pelas fontes externas de variabilidade.

Matematicamente, define-se o experimento como $y = f(x)$, onde, y é a resposta do processo que varia em função da variável x . Existem diversas variáveis em um processo, algumas controláveis e outras não controláveis (chamadas de z) , sendo que o objetivo do experimento sempre deve incluir:

- ✓ determinação de quais variáveis têm maior influência na resposta y;
- ✓ determinação de onde ajustar as variáveis x's para que y esteja quase sempre perto do valor nominal desejado;
- ✓ determinação de onde ajustar as variáveis x's para que a variabilidade em y seja pequena; e
- ✓ determinação de onde ajustar as variáveis x's para que o efeito das variáveis não controláveis z's seja minimizado

Uma abordagem geral para o planejamento e condução de um experimento geralmente é chamada de estratégia de experimentação e pode ser feita de diversas formas. Uma delas é a abordagem da melhor tentativa, baseada na prática dos operadores, engenheiros, cientistas ou líderes do processo, que, em certas situações, até apresenta bons resultados porque o time tem boa experiência e conhecimento do processo. Porém, este método tem duas grandes desvantagens:

- ✓ supondo-se que a melhor tentativa proposta não gerou o resultado esperado, o "experimentador" terá que corrigir toda a combinação de níveis de fatores, o que pode levar um longo tempo sem garantias de sucesso; e
- ✓ supondo-se que a tentativa proposta alcançou o resultado esperado, o "experimentador" ficará tendencioso a parar o estudo sem ter a garantia de que realmente o resultado encontrado era o melhor para o processo.

Outra estratégia de experimentação muito utilizada é a abordagem da mudança dos níveis de um fator a cada teste, mantendo os demais sempre constantes em uma linha base. A vantagem é a facilidade da demonstração gráfica dos fatores em condições controladas. A grande desvantagem deste tipo de método é que esta estratégia de experimentação falha ao não considerar a interação entre fatores, além de ser sempre menos eficiente do que outros métodos estatísticos.

A melhor abordagem para vários fatores é conduzir uma estratégia de experimentação fatorial, onde os fatores variam juntos ao invés de um de cada vez. A estrutura de experimento é montada considerando-se cada combinação em uma ordem randômica até todas as combinações se esgotarem. Muitos autores chamam esta estratégia de "Delineamento de Experimentos" ou DOE do inglês *Design of Experiments*.

Se for conduzido um experimento com k fatores e, cada um com 2 níveis, pode-se utilizar a denominação 2^k para identificar este tipo de experimento, chamado comumente de experimento fatorial em dois níveis. Por exemplo, se for conduzido um experimento com dois fatores e dois níveis, serão necessários 2^2 testes, ou seja, 4 amostras.

Conforme o número de fatores de interesse aumenta, o número de testes aumenta de forma exponencial, sendo que, para um experimento com 10 fatores de interesse e com 2 níveis cada fator, seriam necessários 1024 testes, o que torna inviável o experimento.

Para minimizar este efeito, o experimento fatorial pode ser fracionado em $1/2$ ou até $1/4$, o que significa fazer a metade ou um quarto dos testes que seriam feitos em um experimento fatorial completo. Para isso, uma análise entre efeitos principais e interações é realizada e um confundimento é proposto.

A análise estatística do delineamento de experimentos refere-se ao processo de planejar o experimento de maneira adequada, de forma que os dados possam ser analisados por métodos estatísticos e resultando em uma conclusão válida e objetiva. Os três princípios básicos, parte de todo experimento que se queira executar, são:

- ✓ réplica: número de vezes que o experimento é repetido de forma aleatória. O objetivo da réplica é ter certeza que os ruídos do processo não impactam no fator escolhido. É importante destacar que réplica é diferente de repetição, pois é fundamental que seja feita em uma seqüência diferente do primeiro experimento, já a repetição obedece a mesma seqüência;
- ✓ randomização: seqüência de coleta de dados aleatória. O objetivo é que os tratamentos sejam atribuídos a grupos experimentais tão iguais quanto possíveis, de modo a melhor se avaliar o efeito de um dado fator. A randomização é uma das formas de assegurar esta homogeneidade; e
- ✓ blocagem: técnica utilizada para aumentar a precisão quando uma comparação entre os fatores de interesse é feita. Geralmente a blocagem é utilizada para reduzir ou eliminar a variabilidade transmitida por fontes perturbadoras conhecidas, que são fatores que podem influenciar a resposta do experimento, mas que não são aqueles que o “experimentador” está diretamente

interessado. Generalizando, um bloco é um conjunto relativamente homogêneo de condições experimentais.

Um bom plano para o delineamento de experimentos, além dos princípios básicos citados acima, deve conter:

- ✓ a definição do problema que esta procurando se resolver, de forma fácil, clara e que se relacione com outros similares;
- ✓ a definição do objetivo do experimento, de forma quantificada e específica;
- ✓ a resposta a ser analisada, que deve ser baseada na definição do objetivo do experimento. Neste item, se define o y medido da equação $y = f(x)$ citada anteriormente, sendo que algumas vezes mais de uma resposta é analisada. Alguns itens que vão influenciar no experimento devem ser definidos nesta fase. Por exemplo, se o importante é buscar o resultado central ou diminuir a variação do processo; se o sistema de medição é adequado; quanto estável é a resposta; se há consequências em outras saídas de processo caso o processo estudado seja melhorado, entre outros;
- ✓ os fatores de interesse (entradas do processo) devem ser definidos de acordo com sua influência na resposta. Algumas ferramentas da Qualidade e da Estatística podem ser utilizadas para a definição destes fatores, tais como: mapeamento do processo, análise do modo e efeito da falha (mais conhecido como FMEA, do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*), teste de hipóteses entre outros;
- ✓ os níveis a serem analisados para cada fator. Algumas considerações devem ser feitas para esta escolha, como por exemplo: o tamanho da mudança que se deseja alcançar; qual é a escala de variação dos fatores; quais são as limitações do processo ou máquinas. É importante sempre se avaliar o recurso disponível para o experimento, lembrando-se de que quanto maior o número de níveis, maior a amostragem. Em geral, 2 níveis são convenientes para a maioria dos experimentos; e
- ✓ qual o tipo de delineamento de experimento a ser utilizado, Exemplos: com um único fator e totalmente randômico; factorial com 2 ou mais fatores; factorial com blocagem, operação evolutiva etc. O importante é que esta escolha esteja alinhada com a definição do problema e o objetivo do experimento.

Após o plano elaborado, o experimento deve ser executado. Durante esta fase é vital monitorar o processo cuidadosamente para garantir que tudo está sendo feito conforme o planejado. Erros nesta fase geralmente destroem a validade do experimento. Montgomery (2001 apud Coleman e Montgomery, 1993) sugere que antes de conduzir um experimento, alguns testes antecipados ou pilotos geralmente são úteis. Estes testes provêem informações sobre a consistência do material experimental, sendo uma conferência do sistema de medição, uma idéia aproximada do erro experimental e uma chance de praticar a técnica experimental.

Após a coleta dos dados, métodos estatísticos devem ser utilizados para a análise, de forma a mostrar resultados e conclusões objetivas ao invés de um julgamento baseado em números. Nesta fase, pode-se utilizar o teste de hipóteses, estimar o intervalo de confiabilidade do processo e, por fim, definir a influência dos fatores de interesse na saída do processo, definindo um modelo empírico, que é a equação $y=f(x)$. É importante também fazer uma análise do erro residual para adicionar ao modelo empírico e verificar sua adequação.

O último passo do experimento, e por consequência, um dos mais importantes, é traduzir as conclusões obtidas em termos práticos para a organização. Os métodos gráficos podem ser úteis neste estágio do processo.

3.4 OPERAÇÃO EVOLUTIVA (EVOP)

Apesar do *DOE* em seu modo tradicional ser uma ferramenta muito poderosa para definição das variáveis que influenciam o processo produtivo, muitas vezes a amostragem necessária e o número de repetições se mostram inviáveis, mesmo que o estudo seja conduzido pelo método fatorial fracionado ou ainda, quando não for possível parar o processo, é comum o “experimentador” encontrar problemas para desenvolver o *DOE* em sua essência. Nestes casos, outra técnica, chamada de Operação Evolutiva (*EVOP* do inglês *Evolutionary Operation*) se mostra mais interessante porque não abandona as características do método básico, mas é uma forma mais simples de delineamento e análise de experimentos conduzido pelos próprios operadores do processo.

Utilizado geralmente para processos químicos, o *EVOP* é um estudo fatorial que objetiva mover as condições operacionais para o melhor desempenho possível, sem alterar a qualidade, fazendo-se pequenas alterações em torno da combinação de tratamentos que constitui o padrão da produção.

Para Breyfogle III (2003), no ambiente de manufatura, as coisas necessitam ser simples e usualmente é prático variar somente dois ou três fatores em cada fase da investigação. Nestas circunstâncias, faz sentido utilizar um delineamento com réplica fatorial 2^2 ou 2^3 , geralmente com a adição de um ponto central. Esse modelo usualmente é seguido nas indústrias.

O importante neste experimento, assim como no *DOE* tradicional, é desenvolver um plano para o experimento. Calegare (2001) recomenda o seguinte roteiro para o sucesso na *EVOP*:

- ✓ entender o assunto: algumas ferramentas como os relatórios e resultados de processo, dados da Qualidade, rendimento e etc. podem ser úteis nesta fase;
- ✓ obter o apoio da administração;
- ✓ treinar os envolvidos com o processo para o uso da ferramenta;
- ✓ fazer uma pesquisa com os especialistas do processo para identificar;
- ✓ definir qual a resposta mais importante do processo;
- ✓ definir quais os fatores controláveis mais influentes; e
- ✓ planejar e executar o experimento e, de acordo com os resultados obtidos:
 - promover pequenas mudanças nos níveis dos fatores de interesse, em torno da referência inicial;
 - repetir 2 ciclos de ensaio e estimar seus efeitos. Se as diferenças não forem significativas, executar novo ciclo;
 - quando 2 ou mais efeitos forem significativos, alterar os valores dos fatores de interesse na direção do melhor resultado e realizar novos ensaios;
 - continuar o processo, mudando o ponto central da *EVOP* e ajustando as amplitudes de acordo com os resultados obtidos;
 - fazer no máximo 8 ciclos e caso não se encontre o melhor resultado, mudar a amplitude de mudança dos níveis ou escolher outros fatores de interesse; e

- quando atingir o máximo ou o ganho for muito pequeno, abandonar os fatores de interesse e partir para outros controláveis.

Como citado acima, é importante traduzir as conclusões obtidas em termos práticos para a organização e, em particular neste caso, no qual se aplicam ao processo operacional, modos simples de demonstração das melhorias, atualização dos parâmetros de processo de acordo com os dados obtidos e treinamento para os envolvidos sobre a implicação das mudanças efetuadas é fundamental para o aproveitamento dos benefícios que esta ferramenta oferece na solução de problemas.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

A Companhia Gama é uma empresa multinacional de médio porte e está presente em mais de 35 países. No Brasil, tem fábricas em São Bernardo do Campo e Manaus e atua no ramo químico fornecendo insumos para as indústrias eletrônicas e de tratamento de superfície.

A unidade analisada é a de São Bernardo do Campo, onde atuam aproximadamente 70 funcionários. Dentro desta unidade existem duas grandes divisões, sendo a divisão A líder de mercado com praticamente 60% de participação. A divisão B está em expansão, mas tem somente 10% de participação no mercado e faturamento na ordem de 1/5 da divisão A.

Faz parte da expansão da divisão B, a produção de certo produto Z que é empregado no tratamento de superfície de peças metálicas em uma linha de galvanoplastia. Este item em específico responde por 5 – 10% do faturamento e é de interesse da organização que esta linha seja otimizada para atender a demanda do mercado, por este motivo foi escolhido como foco do estudo.

3.6 APLICAÇÃO

3.6.1 Definição do Problema

O processo de mistura e filtração do produto Z demora em média 8 horas, o que se tornou um gargalo de produção porque a demanda por este produto é alta.

O objetivo foi diminuir este tempo em pelo menos 25%, passando para 6 horas de processo.

É importante ressaltar também que as ações foram focadas nos parâmetros do processo de forma a não alterar a formulação e manter as características finais do produto.

3.6.2 Análise preliminar do processo

Antes de iniciar o processo de definição para o experimento, foi verificado se o processo era estável e se estava sob controle.

Foram pesquisados os resultados de análise de lotes fabricados e aprovados durante o período de Janeiro de 2008 à Julho de 2008 em um total de 28 bateladas.

As características analisadas foram: Sólidos (%), Densidade (g/ml), teste prático (passa/não passa) e resíduos (isento/não isento), sendo que, como todos os lotes coletados estavam aprovados, foi considerado como premissa que os testes práticos de todas as amostras estavam com o resultado “passa” e a análise de resíduos apresentava todos os resultados como “isento”.

As análises de processo para o Sólidos e Densidade são demonstradas nas Figuras 3.1 – Análise do Processo – Sólidos (%) e 3.2 – Análise do Processo – Densidade (g/ml), a seguir:

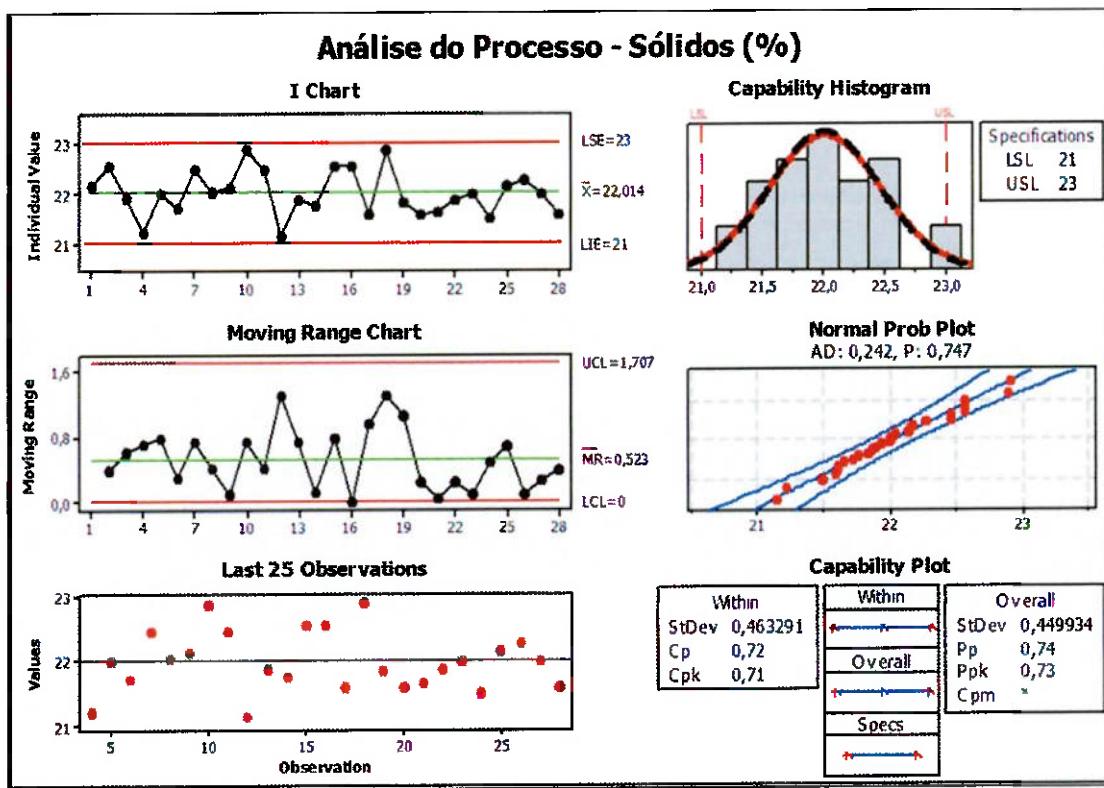


Figura 3-1 - Análise do Processo - Sólidos (%)

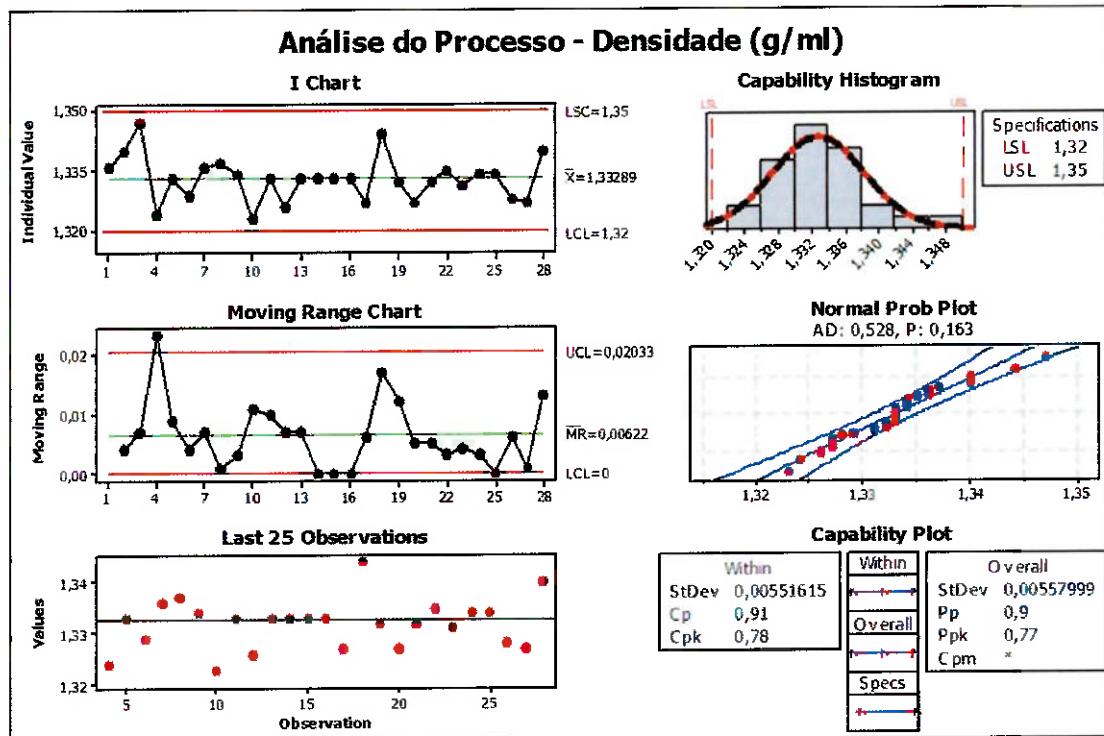


Figura 3-2 - Análise do Processo - Densidade (g/ml)

Observou-se nos gráficos que ambos os dados eram normais com $P\text{-value} > 0,05$, estavam dentro dos limites de engenharia, conforme demonstrado na carta *I Chart*, não havia viés de alta ou baixa e os pontos estavam distribuídos aleatoriamente, conforme demonstrado na carta *Last 25 Observations*.

O cpk de ambos os processos estava abaixo dos 1,33 esperados para processos capazes, porém, na prática de aplicação do produto, o mesmo estando dentro da especificação ou até mesmo um pouco acima, mas atendendo os critérios de teste prático pode-se considerá-los como processos capazes.

Com esta análise, definiu-se que não havia necessidade de ajustes de processo antes da preparação da estratégia para o experimento.

Como o teor de sólidos (%) era o item mais crítico, este foi definido como saída para análise dos experimentos, sendo os demais itens controlados após definição do ponto ótimo.

3.6.3 O processo

A formulação teórica do produto Z consta de um sólido de 23% e o esperado para este processo são valores próximo de 22%. Valores menores que 21% mostram histórico de falha no teste prático e não alcançaram os limites mínimos de densidade. Valores superiores a 23% têm histórico de precipitação quando submetido a baixas temperaturas. Portanto, é extremamente necessário que a faixa de sólidos se mantenha entre 21 – 23%, pois tem interação direta com a densidade e o teste prático,

O Processo de fabricação atual é demonstrado na Figura 3.3 – Escopo do Processo.

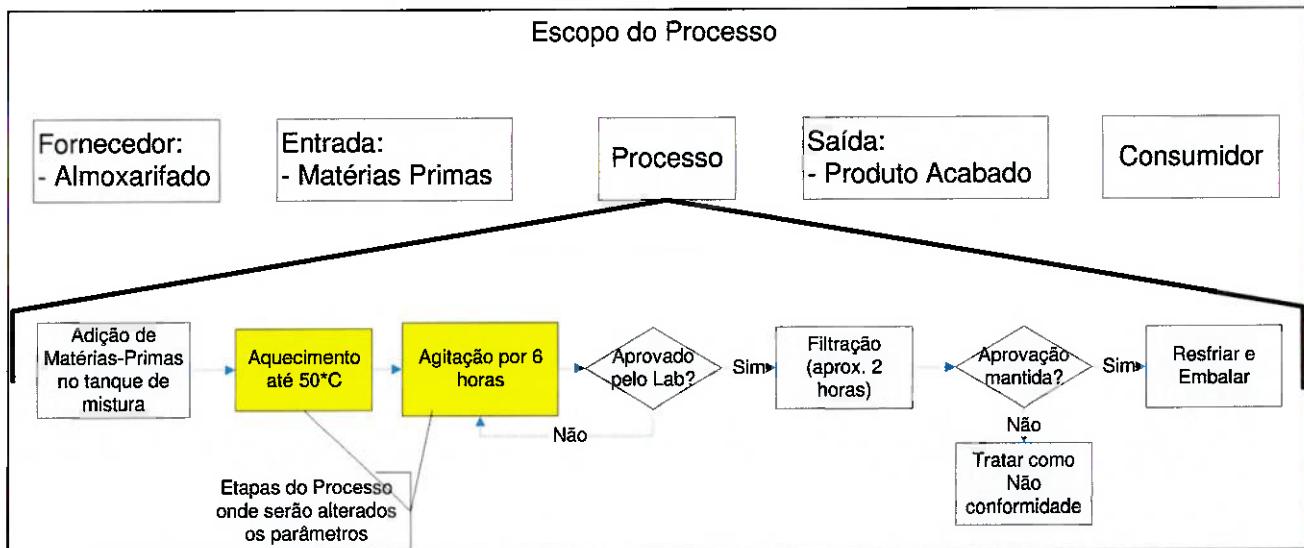


Figura 3-3 - Escopo do Processo

Os blocos destacados são as etapas onde se encontram as variáveis controladas previamente definidas para o experimento, Tempo de Mistura e Temperatura.

Estas variáveis e os detalhes do processo estão demonstrados na Figura 3.4 – Fatores, Entradas e Saídas do Processo.

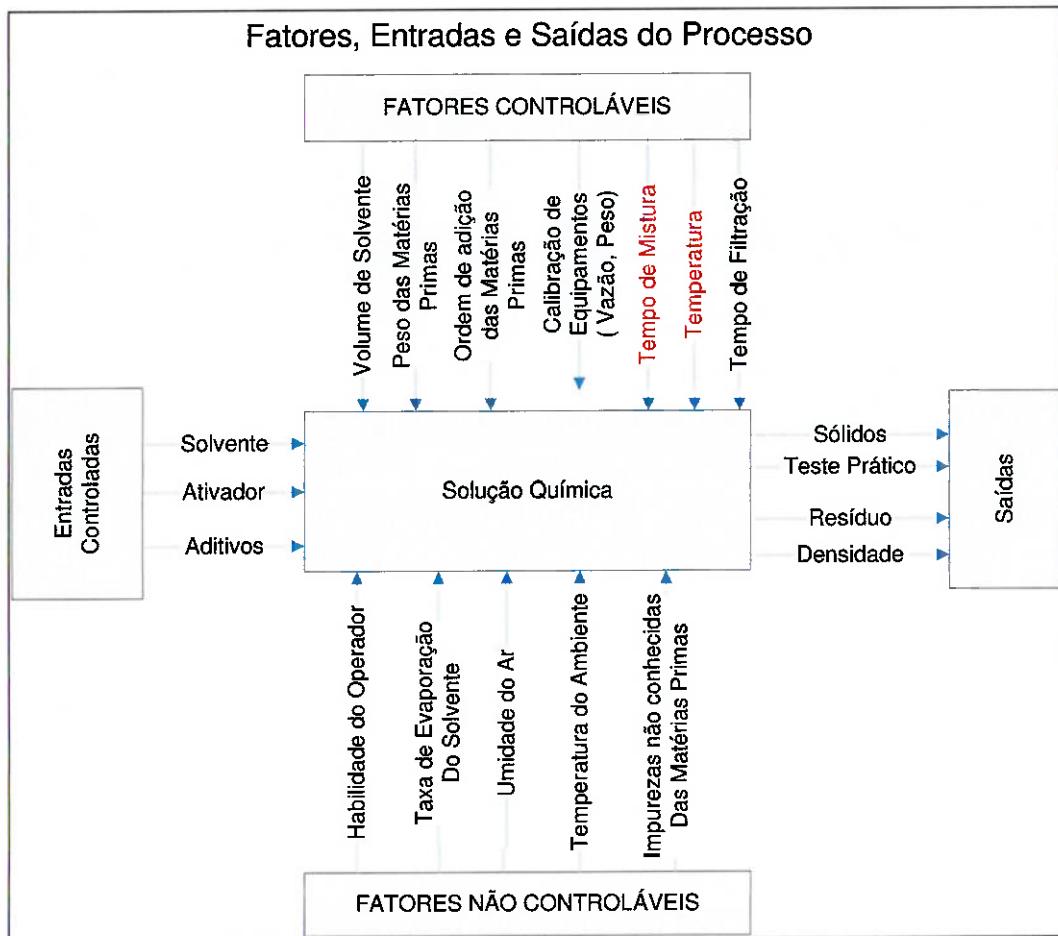


Figura 3-4 - Fatores, Entradas e Saídas do Processo

3.6.4 Aplicando o EVOP

Como demonstrado no Capítulo 3.3.2 – Operação Evolutiva (EVOP) , em um ambiente de manufatura o experimento deve ser de preferência simples e prático e é recomendada a utilização de um delineamento com réplica fatorial 2^2 com adição de um ponto central. Este é o modelo adotado para o estudo.

Os fatores de entrada escolhidos foram: temperatura (°C) e tempo de agitação (h), e o fator de saída escolhido foi o teor de sólidos (%).

O primeiro experimento foi desenhado com auxílio do corpo técnico, definido como parâmetro $55\text{ }^{\circ}\text{C} +/- 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura; $4,5\text{ h} +/- 0,5\text{h}$ de tempo de mistura e um $\alpha = 5\%$.

Os resultados estão demonstrados na Tabela 3.1 – Dados Iniciais de Estudo.

Tempo de Agitação (h) \ Temperatura (°C)	50	55	60
4	20,92		21,43
	20,73		21,34
4,5		21,23	
		21,19	
5	20,90		21,60
	21,06		21,55

Tabela 3.1 - Dados Iniciais de Estudo

Baseado nos dados acima, foi utilizada uma tabela ANOVA, Calegare (2007), para análise dos dados.

TABELA DE DADOS						
Alpha=5%						
Temperatura (°C) (i)	50	60	T _j	Y _j média	T _j **2	Q _j
Tempo de Agitação (h) (j)			84,42	21,105	7126,74	1782,02
4	20,92 20,73 Soma= 41,65 Média = 20,83	21,43 21,34 42,77 21,39	85,11	21,278	7243,71	1811,30
5	20,90 21,06 Soma= 41,96 Média = 20,98	21,60 21,55 43,15 21,58				
T _i	83,61	85,92	T = 169,53			
Y _i média	20,903	21,480			Soma T _j **2= 14370,45 Soma T _i **2= 14372,88	
T _i **2	6990,63	7382,25				
Q _i	1.747,71	1.845,60				Q=3593,32
Quadro de ANOVA, com interação						
Fonte Var.	Soma quadr	G.L	Quadr.Médio	Fcalc	Fcrit	Decisão
Entre colunas	0,667	1	0,667	73,805	7,709	Há influência de A
Entre linhas	0,060	1	0,060	6,585	7,709	Não há influência de B
Interação	0,001	1	0,001	0,068	7,709	Sem interação
Entre tratam.	0,727	3	0,242			
Residual	0,036	4	0,009			
Total	0,763	7				
Quadro de ANOVA, sem interação						
Fonte Var.	Soma quadr	G.L	Quadr.Médio	Fcalc	Fcrit	Decisão
Entre colunas	0,667	1	0,667	90,719	6,608	Há influência de A
Entre linhas	0,060	1	0,060	8,094	6,608	Há influência de B
Residual	0,037	5	0,007			
Total	0,763	7				

Tabela 3.2 – ANOVA

Observou-se pelos dados obtidos que não havia interação entre temperatura e tempo de agitação, ambos com influência no teste. Porém, é importante ressaltar que F_{calc} >> F_{crit} entre colunas, ou seja, a influência da temperatura era muito maior do que do tempo de mistura.

Os próximos experimentos foram parametrizados baseados nestas premissas.

O objetivo do ensaio foi encontrar o parâmetro que tivesse a resposta mais próxima de sólidos = 22%. Baseado na Tabela 3.1 – Dados Iniciais de Estudo, o ponto mais próximo deste valor foi 21,57 que serviu de ponto central para o próximo delineamento, o qual apresentou valores próximos do esperado na coordenada (55;5,5). Como o incremento de tempo de processo foi muito baixo, somente meia hora em relação ao original, a equipe técnica decidiu continuar o estudo.

O gráfico demonstrou tendências para o valor central na coordenada (65;4,5) e este foi adotado como ponto central para o terceiro ensaio que demonstrou concentração muito elevada nos outros dois parâmetros escolhidos. Estimasse que à 70 °C o solvente estaria evaporando mais do que o permitido, pois as concentrações estão acima do valor teórico da quantidade de soluto.

A demonstração gráfica do estudo se encontra abaixo no Gráfico 3.1 - EVOP - 1°, 2° e 3° Ensaio:

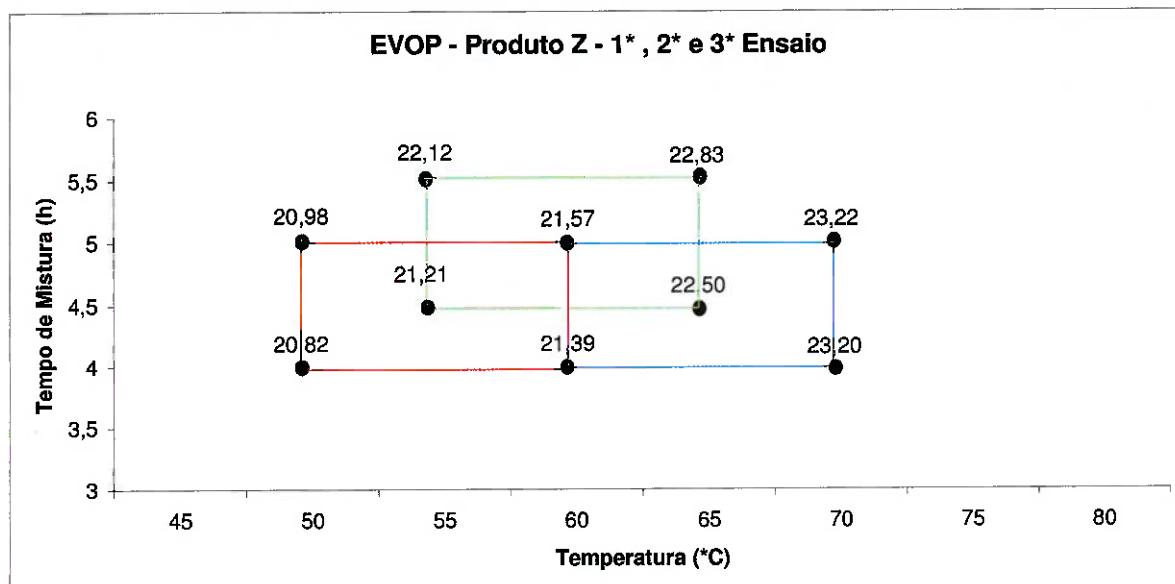


Gráfico 3.1- EVOP - 1°, 2° e 3° Ensaio

Com estes dados, a equipe deduziu que o ponto ótimo estaria em algum parâmetro próximo da coordenada (65;4), contudo, a variação de +/- 5°C parecia excessiva. Este fato foi validado voltando-se à tabela ANOVA e observando-se que a influência da temperatura era muito maior do que a influência do tempo de agitação.

Partindo-se desta definição, um novo ensaio foi elaborado, com coordenada central (65;4) e alterada a variação de temperatura para +/- 2,5°C. Neste novo ensaio, a coordenada (62,5;4,5) indicou um sólidos = 22,07%. Este índice foi considerado ótimo para a equipe.

A demonstração gráfica do estudo se encontra abaixo no Gráfico 3.2 - EVOP - 4° Ensaio:

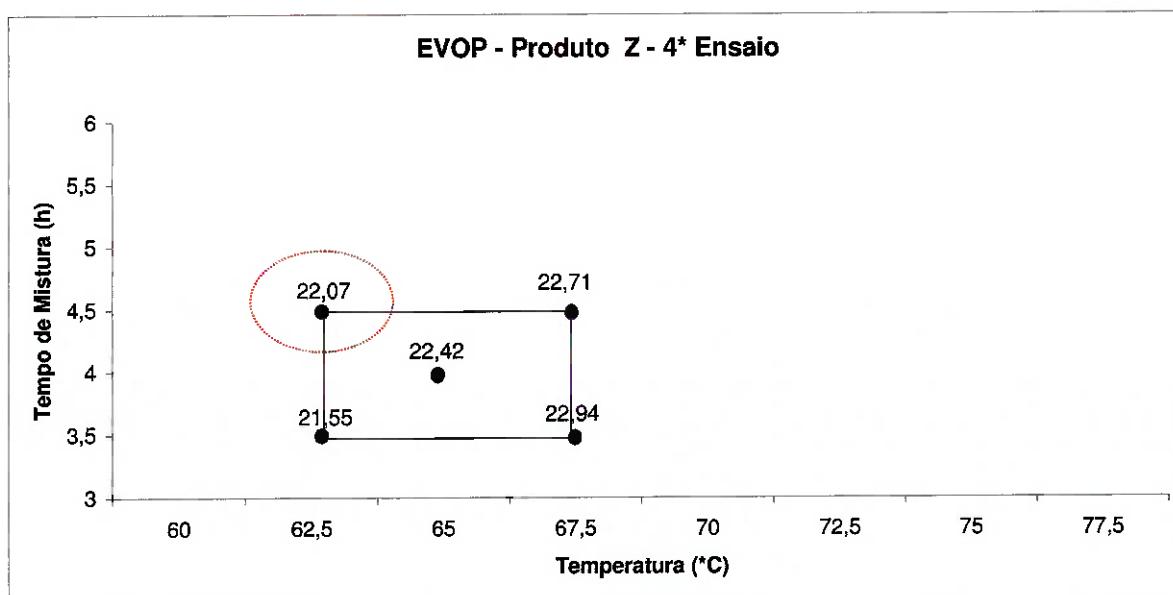


Gráfico 3.2 - EVOP - 4º Ensaio

Após o estudo concluído, os parâmetros foram implementados em uma escala maior e todas as características: densidade, teor de sólidos, teste prático e impurezas foram analisadas e aprovadas.

O modo de preparo do produto Z foi atualizado e o processo foi formalmente alterado.

Com esta alteração, foi diminuída 1,5 h no processo de mistura, totalizando 18,75% de redução no tempo total de processo.

Apesar de não ter sido alcançado os 25% de redução calculados para atender à demanda, o resultado foi considerado satisfatório pelo time que optou por parar o estudo nestes parâmetros, descartando-se o DOE completo.

Para os 6,25% , ou meia hora, de redução de tempo de processo ainda necessários, um estudo no tempo de filtração será efetuado. A meta será reduzir de 2h de filtração para 1,5h. Investimentos em outros tipos de membranas filtrantes e/ou filtros bombas deverão ser efetuados.

3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do *EVOP* se mostrou uma ferramenta valiosa para otimização de processos químicos, principalmente porque não requereu paradas de produção, o que seria fator limitante para o processo devido ao problema ser exatamente gargalo de produção, pois uma parada de linha não seria possível.

Outra vantagem do *EVOP* é o método gráfico, que é de fácil entendimento, porém, é importante ter um time que entenda do processo para delinear os próximos experimentos sob pena de a análise ser conduzida para um parâmetro não ideal, isso ficou exemplificado no terceiro ensaio onde o time teve que reduzir o Δ de temperatura para o quarto ensaio ou o ponto ótimo não seria alcançado.

É importante ressaltar também que a definição correta do problema, assim como a análise prévia do processo e o bom planejamento do experimento foram fundamentais para o sucesso do evento, ficou evidente para o time que os resultados só foram confiáveis e se repetiram porque o processo estava estável.

4 CONCLUSÃO

Após o término dos três estudos, foi possível comprovar a premissa inicial de que as ferramentas, técnicas e métodos da Qualidade com o uso da Estatística são importantes para a análise das causas raízes de defeitos, assim como, a universalidade da Qualidade.

A Estatística foi aplicada com diferentes graus de complexidade ao longo dos casos, evoluindo da Descritiva para a Inferencial. A aplicação ocorreu em três segmentos totalmente distintos, nos quais, a causa raiz manifestada ou potencial do problema foi direcionada, sendo que nos casos 1 e 3, houve resultados positivos com benefícios significativos.

Importante observar, que a Estatística mostrou-se presente em práticas da Qualidade como o MASP e o EVOP – evidenciando a sua forte contribuição para esta.

No caso 1, através da coleta, tabulação e análise de dados, foi possível desdobrar gradativamente um grupo de problemas, até definir ações para o seu tratamento. Neste caso, a lição aprendida foi que as técnicas estatísticas são poderosas, porém só se tornam eficazes se houver disponibilidade e acesso à informação adequada. Para isto é importante a colaboração e o trabalho entre departamentos.

No caso 2, havia a intenção de utilizar técnicas estatísticas paramétricas para validar a equivalência de dois laboratórios para o ensaio de deslizamento. Porém, devido à ausência de normalidade dos dados, empregou-se a Estatística Descritiva para o comparativo. Conclui-se da importância de validar os requisitos das técnicas antes da sua aplicação.

No caso 3, o principal no experimento foi a verificação do processo como um todo, desde a verificação da capacidade do processo até a disciplina na aplicação dos passos do EVOP. Foi notadamente importante a experiência e ainda mais a capacidade de discernimento da equipe para decisão de quando parar ou modificar as coordenadas do ensaio.

É importante destacar que a Estatística contribuiu com a experiência e o conhecimento dos especialistas nas suas áreas de conhecimento em todos os casos, porém não substituiu o olhar crítico destes. O mesmo em relação aos *softwares* estatísticos, como o MINITAB, que requerem discernimento para a escolha das funções adequadas para cada finalidade.

5 RECOMENDAÇÕES

Para a continuação dos trabalhos iniciados neste estudo e com base na experiência adquirida, recomenda-se para estudos futuros:

Caso 1

Evoluir as técnicas estatísticas, passando das descritivas para as inferenciais, possibilitando o trabalho com amostras de chamados, equipamentos, usuários e etc.

Estruturar uma base de dados com o histórico dos chamados de forma a permitir o estudo dos eventos sazonais que impactem a quantidade de chamados.

Evoluir para metodologias mais abrangentes tais como a Six Sigma, fortalecendo o alinhamento com os objetivos da empresa Alfa.

Caso 2

Conduzir novos ensaios com o aumento da precisão das medições com o paquímetro, considerando duas casas decimais.

Realizar novos ensaios para confirmar os resultados obtidos neste estudo.

Utilizar técnicas estatísticas não-paramétricas para possibilitar o teste de hipótese no caso de distribuições não normais.

Caso 3

Como a meta de redução de tempo de processo não foi alcançada, uma nova análise do processo deverá ser feita. O mapeamento feito neste trabalho serve como boa indicação para identificação dos pontos críticos que podem ser melhorados.

O primeiro deles foi o tempo de mistura, otimizado utilizando a técnica do EVOP. Para continuação do trabalho, a sugestão é atuar no tempo de filtração, que pode

ser diminuído com um novo estudo mais aprofundado das variáveis que afetam este tempo. Uma boa técnica para isso pode ser a Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa), após definição destas variáveis significativas um novo EVOP pode ser aplicado ou talvez, dependendo da experiência da equipe, um plano de ação pode ser elaborado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000: Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário.** Rio de Janeiro, 2005.

_____.**NBR 14081: Argamassa Colante Industrializada para Assentamento de Placas de Cerâmica – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2004.

_____.**NBR 14082: Argamassa Colante Industrializada para Assentamento de Placas de Cerâmica Execução do Substrato - Padrão e Aplicação de Argamassa para Ensaio.** Rio de Janeiro, 2004.

_____.**NBR 14085: Argamassa Colante Industrializada para Assentamento de Placas de Cerâmica Determinação dos Deslizamentos.** Rio de Janeiro, 2004.

_____.**NBR ISO TR 10017: Guias e Técnicas Estatísticas para NBR ISO 9001:2004.** Rio de Janeiro, 2000.

BREYFOGLE III, Forest W. **Implementing Six Sigma – Smarter Solutions using Statistical Methods.** United States of America: Wiley, 2003. 1139p.

BUSSAB, Wilton de O.; MORETTIN, Pedro A. **Estatística Básica.** São Paulo: Editora Saraiva, 2002. 526p.

CALEGARE, Álvaro Jose de Almeida. **Introdução ao Delineamento de Experimentos.** São Paulo: Ed. Edgar Blucher Ltda., 2001. 130p.

CALEGARE, Álvaro Jose de Almeida. **Os Mandamentos da Qualidade Total.** São Paulo, Ed. Epse, 2005. 98p.

CALEGARE, Álvaro Jose de Almeida. **Notas de aula EQ013 – Estatística Avançada para a Engenharia da Qualidade (2007).**

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-dia.** Minas Gerais: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004. 266p.

CHRISSIS, Mary Beth; KONRAD, Mike; SHRUM, Sandy. **CMMI® - Guidelines for Process Integration and Product Improvement.** Boston: Addison Wesley, 2003. 663p.

EMPRESA GAMA. **Black Belt Course – DMAIC Methodology**, USA , 2004.

KUNZLER, M.R;GIRARDI, M.D. Aprendendo a usar a Metodologia de Análise e Solução de Problemas (MASP). **Banas Qualidade.** n 181, p 64-67, junho 2007.

MAGALHÃES, Ivan Luizio; PINHEIRO, Walfrido Brito. **Gerenciamento de Serviços de TI na Prática.** Uma abordagem com base na ITIL®. São Paulo: Novatec Editora, 2007. 667p.

MONTGOMERY, Douglas C. **Design and Analysis of Experiments.** United States of America, 2001. 699p

OLIVEIRA, D. P. **Introdução à Qualidade Total.** São Paulo: PECE-EPUSP, 2007, 75p. Apostila para disciplina do MBA de Gestão e Tecnologias da Qualidade do PECE-EPUSP, EQ-021 - Introdução à Qualidade Total.

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de Software.** 6 ed. São Paulo: MacGraw-Hill, 2006. 720p.

PYZDEK,Thomas. **The Six Sigma Handbook.** New York. McGraw-Hill, 2003. 830p.