

**Luís Carlos Santos**

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO EM  
FILTROS DE TAMBOR ROTATIVO CONTÍNUO A VÁCUO PARA  
LODO DE CALDO DE CANA DE AÇÚCAR**

**BAURU - SP**  
**Dezembro - 2009**

**Luís Carlos Santos**

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO EM  
FILTROS DE TAMBOR ROTATIVO CONTÍNUO A VÁCUO PARA  
LODO DE CALDO DE CANA DE AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da UNESP – Campos de Bauru, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de Concentração: Gestão de Operações e Sistemas.

**Orientador: Prof. Dr. José Carlos Martinez**

**BAURU - SP  
Dezembro – 2009**

Santos, Luís Carlos.

Análise da variabilidade do processo de filtração em filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo para lodo de caldo de cana de açúcar / Luís Carlos Santos, 2009.

99 f.

Orientador: José Carlos Martinez

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2009

1. Cana de açúcar. 2. Qualidade. 3. Processo de filtros rotativos. 4. Desperdícios. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LUIS CARLOS SANTOS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.**

Aos 10 dias do mês de dezembro do ano de 2009, às 09:00 horas, no(a) ANFITEATRO DA PÓS-GRADUAÇÃO, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. JOSE CARLOS MARTINEZ do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru, Profa. Dra. MARIA MARCIA PEREIRA SARTORI do(a) Departamento de Engenharia de Produção - Professora Substituta / Faculdade de Engenharia de Bauru, Profa. Dra. SANDRA FIORELLI DE ALMEIDA PENTEADO SIMEAO do(a) Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação / Universidade do Sagrado Coração, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LUIS CARLOS SANTOS, intitulado "ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO EM FILTROS DE TAMBOR ROTATIVO CONTÍNUO A VÁCUO PARA LODO DE CALDO DE CANA DE AÇUCAR". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Prof. Dr. JOSE CARLOS MARTINEZ

  
Profa. Dra. MARIA MARCIA PEREIRA SARTORI

  
Profa. Dra. SANDRA FIORELLI DE ALMEIDA PENTEADO SIMEAO

A minha filha Bárbara Fernanda  
razão dos meus esforços.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por ter sempre dado-me forças para enfrentar e vencer as dificuldades que surgiram, mostrando-me o caminho certo para atingir esse objetivo.

Ao orientador professor. Dr. José Carlos Martinez, pela sua disponibilidade sempre que solicitado, pela sua agilidade no retorno das informações solicitadas e pela importante orientação na definição e dimensionamento do trabalho.

À Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita – UNESP.

Aos Professores do Curso de Pós-graduação, pelo incentivo e contribuições prestadas.

Aos operadores do processo de filtração pela ajuda na realização dos experimentos.

Ao Administrador Rafael Grigolato, pela assistência prestada na realização dos experimentos e análises laboratoriais.

Ao Engenheiro Walter Luiz Polonio pela ajuda e fornecimento de informações.

A técnica de laboratório Roseli Aparecida Prado, pela assistência prestada nas análises laboratoriais.

A professora Dra Beatriz Almeida Rodrigues dos Santos pela ajuda nas correções e organização do trabalho.

A professora Dra Maria Márcia Pereira Sartori pela ajuda nas análises dos resultados e correções.

Aos gerentes da usina por permitirem a realização desta pesquisa em sua unidade industrial.

“A base do controle é constituída por dados  
e informações acurados”.  
Kaoru Ishikawa

## RESUMO

Em qualquer processo de produção, seja ele bem planejado e bem operado, sempre existirá a variabilidade, cujo excesso resultará em desperdícios. Neste sentido, foi analisada nesta pesquisa a variabilidade do processo de filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo, com a utilização de algumas ferramentas de controle estatístico do processo, em uma usina de açúcar e álcool. Tais ferramentas podem proporcionar aos gestores a melhoria da qualidade, auxiliando na redução das causas de variabilidade e, em consequência, minimizando as perdas e custos. As variáveis analisadas para os filtros foram: velocidade de rotação, pressão do baixo vácuo, pressão do alto vácuo e pol da torta. Foram avaliados também o desempenho dos turnos de trabalho, a variabilidade do processo de filtração, a capacidade do processo de filtração, a quantidade de açúcar perdido na torta e as etapas de lavagem e secagem da torta. Foram aplicadas as seguintes ferramentas estatísticas: Folha de verificação, Brainstorming, diagrama de causa e efeito, Análise de variância, Gráfico de controle da média, amplitude, Índices de capacidade de processo e Análise fatorial rotação x vazão. Uma vez que o diagrama de causa e efeito foi interpretado, puderam ser identificadas as principais causas dos fatores que afetam o desempenho do processo, as quais são: área de filtração disponível insuficiente, parada de filtro para manutenção e falta de água na embebição. Verificou-se que, além das diferenças entre os filtros, a pressão do alto vácuo está fora de especificação, a rotação e pol da torta estão elevadas, e que não existe diferenças na performance dos turnos de trabalho. Identificou-se a presença de causas especiais, concluindo-se que o processo de filtração da usina não tem capacidade de atender às especificações propostas pela empresa, ou seja, não pode atingir a meta estabelecida. Nesse contexto, na safra de 2008/2009 foram perdidas 7872,39 ton. de açúcar na torta, que correspondem a 0,71% de todo o açúcar processado. Foram avaliadas as etapas de lavagem e secagem da torta em comparação com os valores de engenharia, e os resultados mostraram que para reduzir a pol da torta a um valor menor que 1,50%, as velocidades de rotação dos filtros (14'x 40') devem estar entre 10 e 15 vph, aplicando-se uma vazão de água de 35 m<sup>3</sup>/h. Os resultados obtidos com a aplicação das ferramentas estatísticas contribuem significativamente para a tomada de decisão no sentido de adequação do processo de filtração em estudo, visando melhorias e a redução de desperdícios.

**Palavras-chave:** Cana de açúcar, Qualidade, Processo de filtros rotativos, Desperdícios.



## ABSTRACT

Whenever any production process takes place, no matter how appropriately it is planned or operated, there will always be the presence of some variability which excess results in wastes. In this regard, the variability of the filtering process via continuous rotary vacuum drum type filters was analyzed in this research, by means of some statistical process control tools used in a sugar-and-alcohol plant. Such tools are able to provide the managers with quality improvement, by helping to reduce the causes of such variability and consequently minimizing wastes and costs. The filters variants here analyzed were: rotation speed, low vacuum pressure, high vacuum pressure and cake pol. It was also verified the performance in different work shifts, the filtering process variability, the filtering process capability, the sugar waste quantity in the cake and the cake washing and drying stages. The statistical tools employed were: Verification paper, Brainstorming, Cause and effect diagram, Variance analysis, graphs for average control, amplitude control, process capability rates control, and Factorial analysis for rotation x flow. Since the cause and effect diagram was interpreted, it was possible to identify the main causes of the factors that affect the process performance, which are: insufficient availability of filtering area, filtering stoppage for assistance service and lack of water during the imbibitions process. Besides the differences between the filters, it was noticed that the high vacuum pressure doesn't meet the specifications, the rotation and cake pol are elevated, and there is no difference between the performances in distinct work shifts. The identification of the presence of special causes led to the conclusion that the filtering process has no capacity to meet the specifications proposed by the Company, being unable to reach its established goals. Because of this context, the Company lost 7872,39 ton. of sugar in the cake during the 2008/2009 harvest, which corresponds to 0,71% of the whole processed sugar. The cake washing and drying stages were evaluated by comparison with the engineering values, and the results showed that in order to reduce the cake pol to a value below 1,50% , the (14'x 40') filters rotation speed must be between 10 and 15 vph, considering a water flow of 35m<sup>3</sup>/h. The results obtained from the statistical tools application contribute substantially to decision-makings toward reaching a suitable filtering process, in order to get improvements and wastes reduction.

**Key-words:** Sugar cane, Quality, Rotative filters process, Wastes.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Eras da qualidade .....	19
Figura 2 - Ciclo de controle .....	24
Figura 3 - Ciclo PDCA de controle de processos .....	26
Figura 4 - Processo sem a presença de causas especiais .....	28
Figura 5 - A causa especial altera a média do processo .....	29
Figura 6 - Modelo do diagrama de causa e efeito. ....	33
Figura 7 - Melhoria do processo com o uso do gráfico de controle .....	35
Figura 8 - Exemplo de gráfico típico de controle .....	37
Figura 9 - Exemplo de periodicidade em gráfico de controle .....	38
Figura 10 - Exemplo de tendência em gráfico de controle .....	38
Figura 11 - Exemplo de deslocamento em gráfico de controle.....	39
Figura 12 - Fluxograma de construção e utilização de gráficos de controle por variáveis.....	42
Figura 13 - Fotografia de um filtro de tambor rotativo contínuo a vácuo tamanho 4.270 mm diâmetro por x 12.190 mm de comprimento .. .....	50
Figura 14 - Etapas de operação em um filtro de tambor rotativo contínuo á vácuo .....	54
Figura 15 - Fotografia da torta de filtro .....	55
Figura 16 - Fases do processo de filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo para lodo de caldo de cana de açúcar da usina .....	57
Figura 17 - Fluxograma básico da seção de filtração de lodo de caldo de cana com seus equipamentos periféricos .....	59
Figura 18 - Fotografia de um filtro de tambor rotativo contínuo a vácuo tamanho 3.960 mm diâmetro por x 7.930 mm de comprimento (13'x 26') .....	60
Figura 19 - Fotografia de um filtro de tambor rotativo contínuo a vácuo tamanho 4.270 mm diâmetro por x 12.190 mm de comprimento (14'x 40') Mause .....	61
Figura 20 - Fotografia de um filtro de tambor rotativo contínuo a vácuo tamanho 4.270 mm diâmetro por x 12.190 mm de comprimento (14'x 40') VLC .....	61
Figura 21 - Fotografia do Brainstorming realizado com operadores do processo de filtração.....	62
Figura 22 - Fotografia da forma e ponto da amostragem individual da torta de cada filtro.....	62
Figura 23 - Fotografia do amostrador e do ponto da amostragem composta da torta.....	64
Figura 24 - Fotografia do medidor de vazão tipo rotâmetro utilizado no experimento .....	66
Figura 25 - Diagrama de causa e efeito para fatores que contribuem para perda de açúcar na torta do processo de filtração .....	68

Figura 26 - Gráfico da média ( $\bar{X}$ ) da variável pol da torta (%) amostra composta .....	76
Figura 27 - Gráfico da amplitude (R) da variável pol da torta (%) amostra composta .....	76
Figura 28 - Gráfico da média ( $\bar{X}$ ) revisado da variável pol da torta (%) amostra composta.....	77
Figura 29 - Gráfico da amplitude (R) revisado da variável pol da torta (%) amostra composta .....	78
Figura 30 - Análise da capacidade do processo da variável pol da torta amostra composta ....	79
Figura 31 - Desempenho da pressão do baixo vácuo em função da rotação x vazão de água..	83
Figura 32 - Desempenho da pressão do alto vácuo em função rotação x vazão de água.....	84
Figura 33 - Desempenho da espessura da torta em função da rotação x vazão de água.....	84
Figura 34 - Desempenho da umidade da torta em função da rotação x vazão de água.....	85
Figura 35 - Desempenho da pol da torta em função da rotação x vazão de água.....	85
Figura 36 - Desempenho da pol da torta em função da rotação.....	86
Figura 37 - Desempenho da umidade da torta em função da espessura.....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores da capacidade de um processo ( $C_p$ ) e falhas associadas (em ppm) .....	45
Tabela 2 - Valores mínimos recomendados da razão da capacidade do processo .....	46
Tabela 3 - Parâmetros de operação de filtro de tambor rotativo contínuo a vácuo.....	51
Tabela 4 - Dados médios da variável velocidade de rotação para os filtros. ....	72
Tabela 5 - Dados médios da variável pressão do baixo vácuo para os filtros.....	72
Tabela 6 - Dados médios da variável pressão do alto vácuo para os filtros.....	73
Tabela 7 - Dados médios da variável pol da torta para os filtros .....	74
Tabela 8 - Dados médios da variável pol da torta amostra composta para os turnos .....	75
Tabela 9 - Dados da safra 2008/2009 .....	80
Tabela 10 - Comparação entre as vazões de água dentro de cada rotação e entre as médias das rotações.....	81

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferenças entre causas comuns e causas especiais.....	29
Quadro 2 - Tipos de gráfico de controle por variável .....	40
Quadro 3 - Tipo de gráfico de controle por atributo .....	41
Quadro 4 - Classificação de processos segundo o índice Cp .....	44
Quadro 5 - Interpretação do índice de desempenho do processo.....	46
Quadro 6 - Características do procedimento de amostragem.....	64
Quadro 7 - Análise do diagrama de causa e efeito para o fator materiais.....	69
Quadro 8 - Análise do diagrama de causa e efeito para o fator mão de obra .....	69
Quadro 9 - Análise do diagrama de causa e efeito para o fator máquinas .....	70
Quadro 10 - Análise do diagrama de causa e efeito para o fator métodos.....	70
Quadro 11 - Análise do diagrama de causa e efeito para o fator meio ambiente.....	71
Quadro 12 - Análise do diagrama de causa e efeito para o fator medidas .....	71

## LISTA DE SIGLAS

ABN - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANOVA – Análise de variância

ART - Açúcar redutor total

Brix - Percentagem de sólidos totais dissolvidos em uma solução açucarada (%)

CEP - Controle Estatístico de Processo

CEQ - Controle Estatístico da Qualidade

C<sub>p</sub> - Índice de Capacidade de processo

C<sub>pk</sub> - Índice de desempenho de processo

C<sub>pi</sub> - Índice de Capacidade de processo inferior

C<sub>ps</sub> - Índice de Capacidade de processo superior

LIC - Limite Inferior de Controle de um Gráfico de Controle

LM - Linha Média de um Gráfico de Controle

LSC - Limite Superior de Controle de um Gráfico de Controle

Ppm - partes por milhão

Pol - Percentual em massa de sacarose dissolvida em uma solução

Pol. de Hg - Polegadas de mercúrio

PDCA - Plan-Do-Check-Act

R - Amplitude (intervalo) amostral

S - Desvio Padrão amostral

Tc - Tonelada de cana

Vph - Voltas por hora

13'x 26' - Treze pés de diâmetro x vinte e seis pés de comprimento

14'x 40' - Quatorze pés de diâmetro x quarenta pés de comprimento

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Aspectos gerais .....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1	Qualidade .....	18
2.2	A importância de conhecer e mensurar os desperdícios no processo produtivo.....	20
2.3	Controle de processo.....	22
2.3.1	O Ciclo PDCA no controle de processo.....	24
2.3.2	Causas de variabilidade do processo.....	27
2.4	Controle estatístico de processo .....	30
2.5	Ferramentas estatísticas do controle da qualidade .....	31
2.5.1	Brainstorming .....	31
2.5.2	Folha de verificação .....	32
2.5.3	Fluxograma .....	32
2.5.4	Histograma .....	32
2.5.5	Diagrama de causa e efeito .....	32
2.5.6	Gráficos de controle .....	34
2.5.6.1	Tipos de gráficos de controle .....	36
2.5.6.2	Construção de um gráfico de controle .....	39
2.5.7	Capabilidade ou capacidade de processo.....	43
2.5.8	Análise de variância .....	47
2.5.8.1	Análise de variância com um fator.....	47
2.5.8.2	Análise de variância com dois fatores.....	48
2.5.8.3	Interpretação do valor-p no teste de hipótese.....	48
2.5.8.4	Método de Tukey para comparação das médias .....	49
2.6	Filtração a vácuo.....	49
2.6.1	Filtros de tambor rotativo contínuos a vácuo.....	50
2.6.2	Parâmetros de operação de filtro de tambor rotativo contínuo a vácuo.....	50
2.6.3	Lodo de caldo de cana de açúcar.....	52
2.6.4	Mecanismos de filtração, formação, desidratação, lavagem, e descarga da a torta .....	53
2.6.5	Torta de filtro .....	54
3	METODOLOGIA UTILIZADA PARA AVALIAR A VARIABILIDADE DO PROCESSO DE FILTROS DE TAMBOR ROTATIVO CONTÍNUO A VÁCUO .....	56

3.1	Caracterização da usina.....	56
3.2	Descrição do processo de filtração .....	57
3.3	Definição das variáveis de qualidade do processo de filtração à vácuo .....	60
3.4	Avaliação das etapas de lavagem e secagem da torta .....	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
4.1	Causas que contribuem para o bom funcionamento do processo de filtração e sugestões de melhorias .....	67
4.2	Análise do desempenho dos filtros para a variável velocidade de rotação .....	71
4.2.1	Análise do desempenho dos filtros para a variável pressão do baixo vácuo .....	72
4.2.2	Avaliação do desempenho dos filtros para a variável pressão do alto vácuo .....	73
4.2.3	Avaliação do desempenho dos filtros para a variável pol média da torta amostra individual.....	74
4.3	Avaliação do desempenho entre os turnos para a variável pol média da torta amostra composta .....	75
4.4	Avaliação da variabilidade do processo de filtração para a variável pol média da torta amostra composta .....	75
4.4.1	Análise da capacidade do processo de filtração .....	78
4.5	Análise da quantidade de açúcar perdido na torta no processo de filtração.....	79
4.6	Análise das etapas de lavagem e secagem da torta de filtro .....	81
5	CONCLUSÕES .....	87
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
	APÊNDICE A - Folha de verificação do processo de filtração.....	93
	APÊNDICE B - Dados médios dos ensaios do filtro rotativo 4 de tamanho 4.270 mm de diâmetro por x 12.190 mm de comprimento (14' x 40').....	94
	APÊNDICE C - Dados dos ensaios do filtro rotativo 4 de tamanho 4.270 mm de diâmetro x 12.190 mm de comprimento (14'x40') com velocidade de rotação de 25 voltas por hora.....	95
	APÊNDICE D - Dados dos ensaios do filtro rotativo 4 de tamanho 4.270 mm de diâmetro x 12.190 mm de comprimento (14'x40') com velocidade de rotação de 20 voltas por hora.....	96
	APÊNDICE E - Dados dos ensaios do filtro rotativo 4 de tamanho 4.270 mm de diâmetro x 12.190 mm de comprimento (14'x40') com velocidade de rotação de 15 voltas por hora.....	97
	APÊNDICE F - Dados dos ensaios do filtro rotativo 4 de tamanho 4.270 mm de diâmetro x 12.190 mm de comprimento (14'x40') com velocidade de rotação de 10 voltas por hora.....	98
	APÊNDICE G - Gráfico da análise da capacidade de processo.....	99



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Aspectos gerais

Deve-se reconhecer que no ambiente competitivo e globalizado em que as organizações estão inseridas, a sobrevivência está diretamente ligada à fabricação de produtos com qualidade e com baixo custo. Nesse sentido, houve um grande avanço para implementação de Programas de Qualidade no parque industrial das usinas produtoras de açúcar e álcool.

De acordo com Oliveira (2004), independentemente do ramo de atividade das organizações, é necessário que seus processos sejam controlados, a fim de evitar a produção de produtos fora das especificações. A produção com “zero defeito” deve ser perseguida constantemente em busca da melhoria contínua.

Tem-se observado nas organizações uma nova interpretação do conceito de qualidade, em que a função técnica clássica de controle sobre o que já foi produzido vem sendo ampliada para uma visão holística da qualidade, principalmente para uma postura estratégica em relação ao controle de custos e gestão de desperdícios. A tendência observada é que seja aplicado o aperfeiçoamento contínuo da qualidade, não apenas em produtos e serviços, mas também em todos os processos de produção englobando as atividades da empresa.

Alonso (2005) comenta que para alcançar níveis mais altos de qualidade em todas as fases do processo, métodos estatísticos vêm sendo reconhecidos cada vez mais como instrumentos importantes para diagnosticar e apresentar soluções para problemas relacionados aos produtos e aperfeiçoar a gestão de operação dos processos. Dentre eles, o Controle Estatístico de Processo (CEP) e, em particular, Diagrama de Causa e Efeito, Gráficos de Controle, Índices de Capacidade e Análise de Variância, entre outros.

Corrêa e Corrêa (2006) salientam que o objetivo principal do CEP é acompanhar os processos por meio do comportamento das estatísticas de suas saídas, separando as causas comuns de variações das causas especiais, e tomar decisões quando causas especiais forem detectadas.

De acordo com Montgomery (2004), a implementação do CEP estabilizará o processo e reduzirá a variabilidade deste. Ainda, na opinião do autor, o fato mais importante não é só atender as especificações dos produtos e processos e sim buscar, de forma contínua, a redução da variabilidade.

Portanto, um dos principais desafios da gestão das empresas modernas é identificar, mensurar e eliminar variações que ocorram durante as atividades dos processos. Os gestores necessitam implementar metodologias de gestão de controle e redução de perdas no processo produtivo, transformando-as em oportunidades de ganhos. Essas metodologias visam melhorar a produtividade para aumentar a lucratividade e obter vantagem competitiva.

O estudo do processo de filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo justifica-se por ser uma das etapas de produção existentes nas usinas de açúcar e álcool que levam a perdas. A análise da variabilidade do processo de filtração permitirá à usina identificar as variações ocorridas e suas causas, fornecendo informações fundamentais aos gestores na otimização ou na alocação de recursos. Portanto, essa pesquisa se torna de vital importância em função do ambiente competitivo em que as usinas produtoras de açúcar e álcool estão inseridas, uma vez que a maioria delas utiliza processos semelhantes.

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a variabilidade do processo de filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo para lodo de caldo de cana de açúcar, com o uso de algumas ferramentas estatísticas da qualidade. Com o intuito de contribuir com a melhoria do processo de filtração na fabricação de açúcar, identificando as causas que afetam o bom funcionamento do processo.

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Detectar as causas que afetam o bom funcionamento do processo de filtração;
- Verificar se existem diferenças no desempenho médio entre os filtros;
- Verificar se existem diferenças na forma de operar o processo entre os turnos de trabalho (A, B e C), considerando a variável pol média da torta amostra composta;
- Analisar, por meio dos gráficos de controle da média e da amplitude, a variabilidade do processo de filtração, considerando a variável pol da torta amostra composta;
- Verificar se o processo tem capacidade de atender a especificação em função da meta estabelecida pela empresa, considerando a variável pol da torta amostra composta;

- Verificar a quantidade de açúcar perdido no processo de filtração na safra 2008/2009;
- Avaliar “in loco” as etapas de lavagem e secagem da torta de filtro e apresentar propostas de melhoria do processo em função da interpretação dos resultados obtidos.

Esta pesquisa estrutura-se em cinco seções: na seção 1 é apresentado o tema abordado, os objetivos a serem alcançados e as justificativas para a escolha do mesmo. Na seção 2 é desenvolvido o embasamento teórico sobre os assuntos correlatos ao tema principal da dissertação. Na seção 3 é indicada a metodologia utilizada para avaliar a variabilidade do processo de filtro rotativo contínuo a vácuo para lodo de caldo de cana de açúcar. Na seção 4 são expostos os resultados e discussões dos dados e análises obtidos com relação ao processo de filtração. Finalmente, na seção 5 são apresentadas as conclusões gerais e sugestões para melhoria da qualidade do processo de filtração.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Qualidade

As organizações têm buscado de forma incessante a qualidade de seus processos e produtos para atender às necessidades de seus clientes, pois este se tornou um dos mais importantes fatores de decisão dos consumidores em relação à compra de produtos ou serviços.

O termo qualidade é bastante amplo e existem várias definições:

Deming (1990) afirma que qualidade é atender sempre às necessidades dos clientes a um preço que eles estejam dispostos a pagar.

Segundo Juran (1988 apud CORRÊA e CORRÊA, 2006), qualidade é produzir produtos com especificações que atendam às necessidades dos clientes e que promovam a satisfação dos mesmos.

Para Taguchi (1979 apud CORRÊA e CORRÊA, 2006), qualidade é definida pelos desperdícios que o produto impõe à sociedade.

Montgomery (2004) considera a qualidade inversamente proporcional à variabilidade. A melhoria da qualidade pode ser alcançada com a redução na dispersão nos processos e produtos.

Campos (1992) define um produto ou serviço de qualidade como aquele que atende às expectativas do cliente de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo esperado.

A qualidade é definida como um grau de excelência, a conformidade de um produto à sua especificação; qualidade é produzir dentro das expectativas do cliente desde a primeira vez e sempre (OLIVEIRA, 2004). O autor define qualidade para produto, processo, projeto e qualidade total, expostas a seguir:

Qualidade do Produto é a rigorosa definição das características relevantes do mesmo, estabelecendo os atributos e as variáveis que este deve conter, assegurando sua dimensão. A especificação é o documento que evidencia essa definição.

Qualidade do Processo é atender de forma rigorosa a especificação dos processos que serão realizados na produção de um bem ou serviço, incluindo as faixas de tolerâncias desejadas dos resultados.

Qualidade Total é a preocupação com a qualidade em todos os processos da empresa, buscando sistematicamente o zero defeito pela melhoria contínua dos processos de produção.

Qualidade de Projeto é a competência que uma organização apresenta em conceber e desenvolver produtos e processos de forma a alcançar a satisfação do cliente, com custos e prazos aceitáveis.

Segundo Oliveira (2004), a qualidade ao longo do tempo passou por três grandes fases, as quais são ilustradas na Figura 1.




---

Figura 1 - Eras da qualidade  
 Fonte: Oliveira (2004, p.4)

Segundo Campos (1992) e Oliveira (2004), na era da qualidade total, onde se enquadra o momento atual, a ênfase é dada ao cliente, sendo este o centro das atenções das organizações que buscam satisfazer suas necessidades e atender suas expectativas. As empresas apresentam como principal característica a participação e o envolvimento de todos os seus funcionários e setores, a fim de garantir a qualidade dos produtos e serviços. Dessa forma, todo o processo relacionado à gestão da qualidade tem que ser considerado de forma sistêmica, de maneira que os inter-relacionamentos e interdependências sejam considerados entre todos os níveis da empresa. Ainda, segundo os autores, o Controle da Qualidade Total é um sistema de gestão que visa melhorar constantemente a qualidade dos processos, produtos e serviços, por meio do envolvimento e comprometimento de todas as pessoas da empresa, objetivando conquistar a excelência e o aprimoramento contínuos.

De acordo com Campos (1992), para alcançar o controle da qualidade total, as organizações necessitam detectar quais foram as metas não alcançadas, analisar os resultados não satisfatórios, identificar suas causas e atuar sobre as mesmas. Ainda, segundo o autor, os

resultados devem ser sistematicamente mensurados, para averiguar se os objetivos foram atingidos.

De acordo com Campos (1992), Werkema (1995) e Oliveira (2004), independentemente do ramo de atividade da empresa, é necessário que sejam aplicadas ferramentas de controle de produção, como o CEP, para melhorar seus processos.

Campos (1992) atesta que o Controle da Qualidade Total é regido pelos seguintes princípios básicos:

- a) Produzir e fornecer produtos que atendam às necessidades dos clientes;
- b) Garantir a sobrevivência da empresa por meio de lucro contínuo adquirido pelo domínio da qualidade;
- c) Identificar os problemas mais críticos e solucioná-los o mais rápido possível, conhecendo métodos de soluções;
- d) Tomar decisões com base em dados e em fatos concretos;
- e) Gerenciar a empresa com visão sistêmica, sempre de forma preventiva;
- f) Reduzir metodicamente as variabilidades em todas as fases do processo;
- g) Não permitir a venda de produtos fora de especificação;
- h) Prevenir de forma contínua a origem de problemas que possam afetar o bom funcionamento do processo;
- i) Nunca permitir a repetição de algum problema;
- j) Respeitar todos os funcionários;
- k) Definir e garantir a execução da Visão e Estratégia da Alta Direção da empresa.

Todos os autores citados enfatizam que a qualidade é um diferencial competitivo, e que as empresas devem buscar de forma contínua a melhoria da qualidade nos seus processos, produtos e serviços, o que as tornará mais competitivas.

## **2.2 A importância de conhecer e mensurar os desperdícios no processo produtivo**

Para realização de um produto ou serviço, é necessária a utilização de vários recursos dentro de uma empresa, tais como: materiais, recursos humanos, máquinas, tempo, etc. A perda é definida como a quantidade de recursos utilizados de forma não necessária (GHINATO, 1996).

Para Brimson (1996), desperdícios são constituídos pelas atividades que não adicionam valor e que resultam em gastos de tempo, dinheiro, recursos sem lucro, além de

acrescentarem custos desnecessários aos produtos. Atividades que não agregam valor são as que podem ser eliminadas sem que haja modificação no produto em relação às especificações e sem prejuízo ao desempenho da empresa.

Nakagawa (1991) atribui como desperdício todas as formas de custos que não adicionam qualquer valor ao produto, sob a ótica do consumidor. Considera como desperdícios: estocagem, qualquer forma de inspeção, preenchimento de controles internos, perdas durante o processo, atividades de reprocessamento.

Ohno (1997, p.71) salienta: “O desperdício na produção se refere a todos os elementos que só aumentam os custos sem agregar valor, como: excesso de pessoas, de estoques e de equipamentos”.

Para Shingo (1996), a movimentação dos operadores pode ser classificada como operações e desperdícios. O desperdício é tudo aquilo que não contribui para as operações, tal como: espera, acumulação de peças semiprocessadas, recarregamentos, transporte de materiais de mão em mão, etc. O autor afirma ainda que uma maneira de aumentar os lucros é pela redução dos custos. Para reduzir os custos, o único método é a eliminação total da perda.

As perdas ocorrem durante o processo produtivo, em diversas atividades que não agregam valor ao produto. Em busca da otimização destas atividades e da eliminação das perdas, Ohno (1997) identificou setes tipos de desperdício no processo produtivo: superprodução, transporte, processamento, fabricação de produtos defeituosos, movimentos, espera e estoque.

Womack e Jones (1998) afirmam que os desperdícios estão presentes em todos os processos e serviços, ou seja, por toda parte, e salientam que quando se aprender a observar os desperdícios, verificar-se-á que são maiores do que se imagina.

Corrêa e Corrêa (2006) afirmam que eliminar desperdícios significa analisar todos os processos de forma sistêmica na fábrica e eliminar aqueles que não adicionam valor à produção.

Bornia (1995) diz que as empresas precisam necessariamente concentrar seus esforços na busca constante de seu aprimoramento, não apenas com inovações tecnológicas, mas também com a redução de desperdícios existentes no processo.

Slack et al (1999, p. 480) citam que “uma das maneiras de identificar e reduzir os desperdícios é eliminar as falhas que ocorrem no processo produtivo ou em qualquer sistema”. Os autores abordam vários tipos de falhas que normalmente ocorrem em um sistema como: falhas de projeto, falhas de instalações, falhas de pessoal, falhas de fornecedores e falhas de clientes.

Ohno (1997) afirma que a melhor maneira de evitar que os desperdícios ocorram é utilizar programas de prevenção, ou seja, corrigindo-se os erros antes que provoquem os desperdícios.

Segundo Vieira (1999), a maioria das perdas é explicada por pequenas causas. Então, a primeira fase deve ser a de identificação das causas e, a segunda, de eliminação das mesmas. Dessa forma, as perdas serão reduzidas.

A medição do custo dos desperdícios é de fundamental importância para que uma empresa possa estabelecer melhorias em seus processos, produtos e serviços. Para tanto, é necessário obter informações precisas sobre tais desperdícios para que se possa definir e realizar uma estratégia de ação, identificando-se quais medidas adotar e as áreas de atuação em que serão aplicadas.

Uma redução contínua dos desperdícios levará a empresa a baixar os custos de produção. Além disso, irá propiciar o aperfeiçoamento geral de seus processos e, conseqüentemente, haverá melhoria dos produtos. À medida que os desperdícios vão sendo diminuídos, novos padrões de desempenho são alcançados. De acordo com Nakagawa (1991, p.19), “a eliminação de todas as formas de desperdícios levará a empresa a melhorar a produtividade, a qualidade e auxiliará na redução de custos”. Práticas essas que contribuirão para torná-la mais competitiva.

### **2.3 Controle de processo**

O controle de processo é a essência do gerenciamento da qualidade em todos os níveis hierárquicos da empresa. O primeiro passo no entendimento do controle de processo é a compreensão do relacionamento entre causa e efeito. Essa compreensão irá gerar os pré-requisitos para que cada empregado da empresa possa assumir suas próprias responsabilidades, criando as bases para o gerenciamento participativo (ALONSO, 2005).

Processo é uma combinação entre o homem, os materiais, as máquinas e o meio ambiente para a fabricação de um produto ou serviço. Mais especificamente, um processo é qualquer conjunto de atividades ou conjunto de causas (sistema de causas) que trabalham simultaneamente para produzir um determinado resultado.

Um processo pode ser definido como um conjunto de causas que tem como objetivo produzir um determinado efeito, o qual é denominado produto do processo (WERKEMA, 1995).



De acordo com Barbará et al (2006) processo é um conjunto de atividades realizadas que toma um input, agrega valor a ele e fornece um output a um cliente.

De acordo com Rotondaro (2005), processo é uma sequência de atividades organizadas que transformam as entradas de matéria prima em produtos para os clientes.

Ramos (2000) define processo como um conjunto de atividades com um objetivo ou finalidade e comenta que existem vários tipos de processos em todas as empresas, sejam produtivos ou administrativos.

Todo processo sempre possui cinco componentes básicos:

- 1) Fornecedores: são empresas ou outras áreas que alimentam o processo com algum tipo de entrada;
- 2) Entradas: são os produtos dos fornecedores;
- 3) Processo: é o próprio processamento, criando ou aumentando o valor das entradas;
- 4) Saídas: são os produtos que foram transformados pelo processo;
- 5) Clientes: são as empresas, pessoas ou áreas dentro da empresa que recebem a saída do processo (clientes internos ou externos).

A palavra controle possui dois significados distintos: fiscalização e ajuda. A fiscalização é entendida como um ato de monitoramento para evitar que algo saia do comportamento desejado. Por ajuda, entende-se auxiliar um processo ou alguma coisa a obter melhor resultado, como é o caso do CEP.

Um ciclo de controle possui as seguintes fases:

- Medir algum item de controle do processo que se deseja controlar;
- Avaliar o resultado comparando-o com o parâmetro de especificação ou meta;
- Avaliando a comparação, decidir sobre realizar ou não algum ajuste no processo;
- Agir sobre as entradas, corrigindo as diferenças encontradas.

É importante destacar que o ciclo se fecha com a ação tomada sobre as entradas e não sobre as saídas, sobre os fatores de processo e não sobre os produtos, pois o objetivo é controlar o processo, evitando, assim, que haja produção de produtos defeituosos; controlar é manter o ciclo de controle girando de forma contínua (RAMOS, 2000). A Figura 2 ilustra o ciclo de controle.

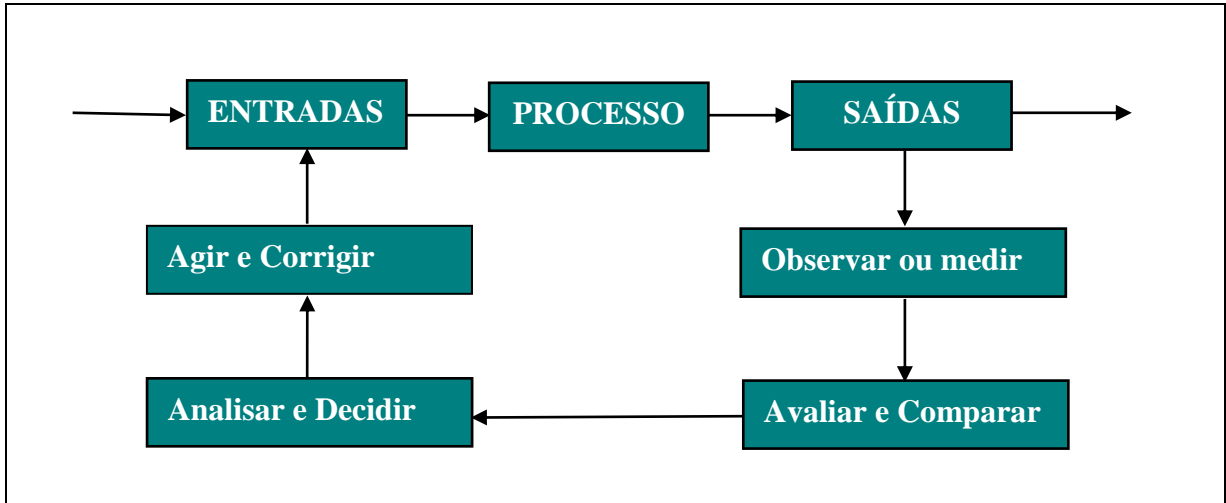


Figura 2 - Ciclo de controle.  
Fonte: adaptado de Ramos (2000, p.5).

O CEP busca o controle da qualidade pelo controle das etapas do processo, ao invés da inspeção após a produção, em que se separam produtos bons daqueles defeituosos (controle do produto). O enfoque principal é a correção dos defeitos de forma preventiva, sem que os mesmos cheguem ao produto final, evitando retrabalhos e obtendo melhoria da qualidade (RAMOS, 2000).

Quando um processo apresenta problemas de variação, deve-se focar sempre à causa geradora do defeito, e não efeito.

Um processo que apresenta bom desempenho em termos de qualidade e produtividade depende de dois fatores básicos:

1. A forma pela qual ele foi projetado;
2. A forma como ele é operado.

### 2.3.1 O Ciclo PDCA no controle de processo

O Ciclo PDCA, também conhecido como Ciclo de Shewhart, Ciclo da Qualidade ou Ciclo de Deming, é um método gerencial de controle que pode ser utilizado para manter e melhorar as diretrizes de controle de um processo (CAMPOS, 1992).

A metodologia utilizada foi desenvolvida por Walter A. Shewhart na década de 30 e consagrada por Deming a partir da década de 50, quando foi empregada com sucesso nas empresas japonesas para o aumento da qualidade de seus processos. O Ciclo PDCA tem como objetivo exercer o controle dos processos, podendo ser utilizado de forma contínua para o gerenciamento em uma organização, por meio do estabelecimento de uma diretriz de controle

(planejamento da qualidade), do monitoramento do nível de controle e, a partir de padrões, da manutenção da diretriz atualizada.

Como pode ser observado na Figura 3, o Ciclo PDCA está dividido em quatro fases bem definidas e distintas, conforme detalhado a seguir (CAMPOS, 1992).

#### Primeira fase: P (Plan = Planejar)

Esta fase é caracterizada pelo estabelecimento de um plano de ação, sendo dividida em duas etapas:

- a) Estabelecer metas;
- b) Estabelecer o método para alcançar as metas propostas.

#### Segunda fase: D (Do = Executar)

Caracteriza-se pela execução do que foi planejado. É realizado em duas etapas:

- a) Executar as tarefas exatamente como foi previsto na etapa de planejamento; nesta etapa é essencial educação e treinamento individual e organizacional;
- b) Coletar dados que serão utilizados na próxima etapa de verificação do processo.

#### Terceira fase: C (Check = Verificar)

Esta fase consiste em checar, comparando os dados obtidos na execução com o que foi estabelecido no plano, com a finalidade de verificar se os resultados estão sendo atingidos conforme o que foi planejado. A diferença entre o desejável (planejado) e o resultado real alcançado constitui um problema a ser resolvido. Dessa forma, esta etapa envolve a coleta de dados do processo e a comparação destes com os do padrão. A análise dos dados fornece subsídios para a etapa seguinte.

#### Quarta fase: A (Action = Ação)

Essa etapa consiste em atuar no processo em função dos resultados obtidos. Existem duas formas possíveis de atuação:

- a) Adotar como padrão o plano proposto, caso a meta tenha sido alcançada;
- b) Caso o plano não tenha sido efetivo, deve-se agir sobre as causas do não atendimento à meta.

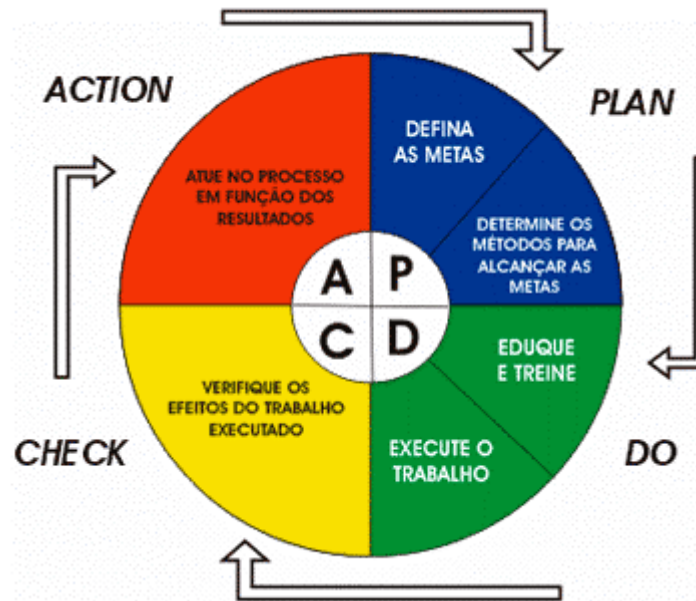


Figura 3 - Ciclo PDCA de controle de processos.  
Fonte: adaptado de Campos (1992, p.30).

O Ciclo PDCA é um método gerencial que representa o caminho a ser seguido para que as metas estabelecidas possam ser atingidas. Na utilização do método, poderá ser preciso empregar várias ferramentas para coletar, processar e analisar as informações necessárias para as etapas do PDCA (WERKEMA, 1995).

O Ciclo PDCA deve ser utilizado para melhoria dos resultados, sendo aplicado de forma contínua em todas as fases dos processos, em busca de soluções dos problemas e melhoria contínua (CAMPOS, 1992).

Segundo Oliveira (2004), o objetivo do Ciclo PDCA é que todos os processos sejam estudados e planejados de forma contínua (realizando modificações e melhorias), tenham suas mudanças implementadas e controladas (envolvendo medição e observação dos efeitos), devendo desenvolver-se de forma contínua e indefinidamente, a fim de que, depois de idealizado, implantado, medido e tendo sido estudados os resultados, possa novamente ser utilizado em outra oportunidade de melhoria, permitindo que o processo esteja sempre evoluindo.

A aplicação do Ciclo PDCA a todas as fases do processo leva à eliminação de problemas e atividades que não agreguem valor ao produto final, e aperfeiçoa a execução dos processos, possibilitando aumentar a produtividade e redução de custos, garantindo a sobrevivência da empresa ao torná-la mais competitiva.

Campos (1992) e Oliveira (2004) acreditam que todos os processos considerados satisfatórios são passíveis de melhorias e que a aplicação do Ciclo PDCA promove o aprendizado contínuo dos processos, identificando oportunidades de aperfeiçoamento.

### **2.3.2 Causas de variabilidade do processo**

Todos os processos apresentam variabilidade e a variação nas características da qualidade existe em função das diferenças ou inconsistências entre operários, lotes de matéria-prima, equipamentos, instrumentos de medição, má operação, etc.

Segundo Montgomery (2004), em qualquer processo de produção, independentemente se bem planejado e se bem operado, sempre haverá a presença inerente de variabilidade.

Werkema (1995) diz que a variabilidade é denominada de variação ou dispersão e está presente em todos os processos de produção e serviços.

Costa et al (2005) comentam que a variabilidade do processo está diretamente ligada às diferenças existentes entre as unidades produzidas. Se a variabilidade do processo for grande, as diferenças serão facilmente percebidas.

De acordo com Werkema (1995), é importante destacar que existem dois tipos de causas de variação na qualidade dos produtos provenientes de um processo:

- a) Causas comuns;
- b) Causas especiais.

Causa Comum é definida como uma fonte de variação que afeta todos os valores individuais de um processo. Resulta de diversas origens, sem que nenhuma tenha predominância sobre a outra. Os valores individuais diferem entre si e quando são agrupados tendem a formar um padrão, ou uma distribuição de probabilidade, que pode ser caracterizado pela localização (centro de distribuição), dispersão (variabilidade dos valores individuais) e forma (formato da distribuição). A variação, devido a causas comuns, está sempre presente e não pode ser reduzida sem mudanças na concepção do processo ou do projeto. Quando apenas causas comuns estão atuando no processo, a quantidade de variabilidade mantém-se em uma faixa estável.

Causa Especial é um fator que gera variações que afetam o comportamento do processo de maneira imprevisível, não sendo, portanto, possível obter um padrão ou uma distribuição de probabilidade. Costuma também ser chamada de causa esporádica, em virtude

de sua natureza. Diferencia-se da causa comum pelo fato de produzir resultados totalmente discrepantes com relação aos demais valores.

A Figura 4 mostra um processo sujeito apenas a causas comuns. A característica de  $X$  apresenta variabilidade que pode ser representada por uma distribuição normal, ou bem próxima a isso, que se mantém estável, ou seja, apresenta média e dispersão do processo sem alterações ao longo do tempo. Quando o processo opera somente com a variabilidade de causas comuns, significa que o processo está sob controle.

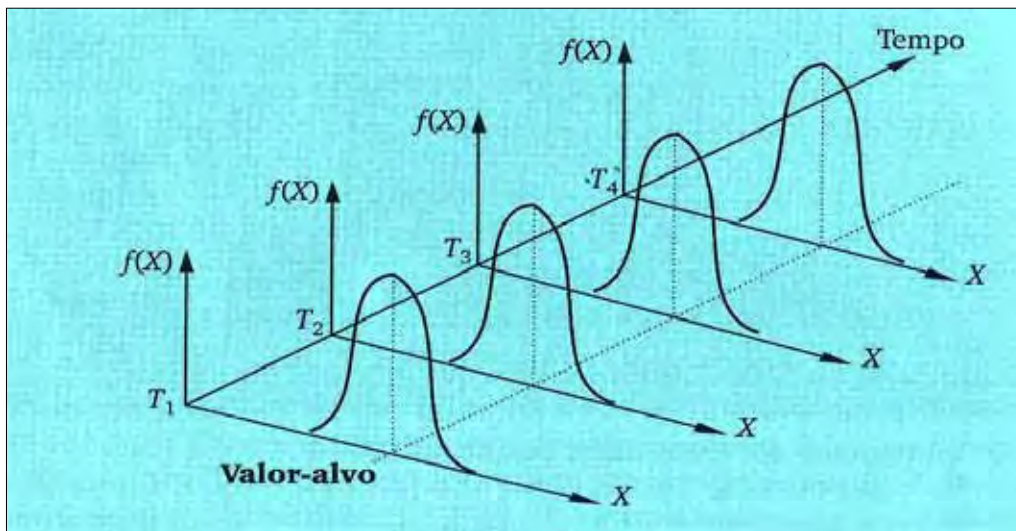


Figura 4 - Processo sem a presença de causas especiais.  
Fonte: adaptado de Costa et al (2005).

A Figura 5 exemplifica um processo que apresenta a ocorrência de causas especiais, que tem o efeito de deslocar a distribuição da variável aleatória  $X$ , tirando a média do valor alvo e/ou aumentando a dispersão. Uma causa especial é um problema ou uma maneira de operação inadequada do processo, que pode ser corrigida e eliminada.

De acordo com Costa et al (2005) e Webster (2006), quando, além das causas comuns de variabilidade, causas especiais estiverem atuando no processo, significa que o processo está fora de controle.

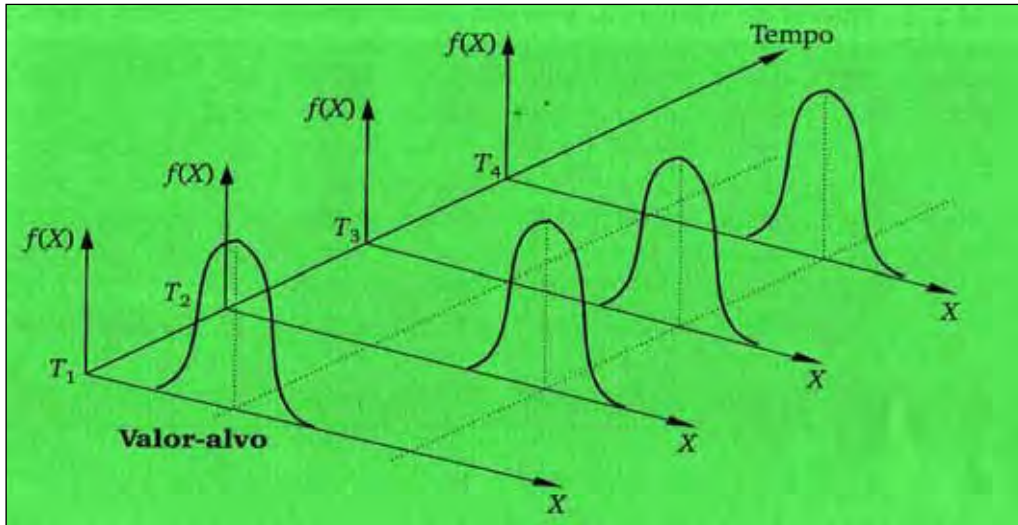


Figura 5 - A causa especial altera a média do processo.  
 Fonte: adaptada de Costa et al (2005).

<b>Causas Comuns</b>	<b>Causas Especiais</b>
1- São inerentes ao processo e estão sempre presentes.	1- São desvios do comportamento “normal” do processo. Atuam esporadicamente.
2- Muitas pequenas causas que, individualmente, produzem pouca influência no processo.	2- Uma ou poucas causas que produzem grandes variações no processo.
3- Sua correção exige uma grande mudança no processo. Justificável economicamente, mas nem sempre.	3- Sua correção é, em geral, justificável e pode ser feita na própria linha.
4- A melhoria da qualidade do produto, quando somente causas comuns estão presentes, necessita de decisões gerenciais que envolvem investimentos significativos.	4- A melhoria da qualidade pode, em grande parte, ser atingida por meio de ações locais que não envolvam investimentos significativos.
5- São exemplos: treinamento inadequado, produção apressada, manutenção deficiente, equipamento deficiente, etc.	5- São exemplos: máquina desregulada, ferramenta gasta, oscilação temporária de energia, falha de operação, etc.

Quadro 1 - Diferenças entre causas comuns e especiais  
 Fonte: Adaptado de Costa et al (2005) e Werkema (1995).

O quadro 1 mostra as diferenças existentes entre causas comuns e especiais, sendo que a importância de se distinguir entre essas duas classes de causas de variação reside, principalmente, no fato de que os tipos de ação adotada e de responsabilidade envolvida pertencem a diferentes esferas da empresa.

A eliminação de causas especiais exige uma ação local, que pode ser tomada por pessoas próximas ao processo.

Já as causas comuns exigem ações sobre o sistema de trabalho, que somente podem ser realizadas pela administração, visto que o processo é em si consistente, mas, mesmo assim, incapaz de atender às especificações.

## **2.4 Controle estatístico de processo**

Oliveira (2004) comenta que qualquer que seja o ramo de atividade das empresas, faz-se necessário que o processo produtivo seja controlado para evitar produtos fora da especificação, sempre se buscando a perfeição. Para que isto ocorra, é necessária a utilização de ferramentas de controle de produção, como o controle estatístico de processo (CEP), assim como ferramentas para detecção e apresentação de soluções para problemas com produtos e processos.

Montgomery (2004) afirma que o controle estatístico de processo é uma poderosa ferramenta utilizada para resolução de problema útil na obtenção da estabilidade do processo e da melhoria contínua da qualidade e produtividade. O mesmo autor diz que um processo que opera na presença de causas especiais está fora de controle e que, normalmente, tais causas especiais são causadas por desgaste do equipamento ou falha de operação, sendo que o objetivo maior da utilização do CEP é detectar rapidamente a ocorrência dessas causas na mudança do processo, de modo que a investigação e a ação corretiva do mesmo possam ser implementadas antes que muitos produtos defeituosos sejam produzidos.

O objetivo principal do CEP é obter melhores processos de produção com menor variabilidade, proporcionando produtos de melhor qualidade. E quando se fala em processos melhores, não é só em termos de qualidade, mas também em relação a custos menores (SAMOHYL, 2005).

Para Oliveira (2004), a missão do CEP é monitorar a variabilidade do processo e mostrar a necessidade de intervenções e de correção. É necessário também identificar e eliminar as causas que geram a má qualidade do processo.

Ao utilizar as ferramentas estatísticas no controle de processos, depara-se com expressões do tipo “Processo sob controle estatístico” e “Processo fora de controle estatístico”. Define-se:

a) Processo sob controle estatístico é aquele onde se tem presente uma variabilidade natural, ou seja, que lhe é inerente e resulta apenas da ação das chamadas causas comuns.



Neste caso, a variabilidade se mantém numa faixa estável, denominada de faixa característica de processo.

b) Processo fora de controle estatístico é aquele sob a influência de causas especiais de variação, causas estas que ocorrem de forma imprevisível e criam instabilidade, já que o processo passa a se comportar de forma diferente do padrão. A variabilidade nesse panorama é bem maior que a do item anterior, fazendo-se necessário descobrir os fatores que originaram essa variação.

De acordo com Montgomery (2004), a variabilidade interfere no desempenho do processo e resulta em desperdícios desnecessários, como o de dinheiro, tempo e esforço. O autor ressalta que o CEP é um conjunto de ferramentas úteis para a redução da variabilidade e, conseqüentemente, para a melhoria do desempenho do processo.

## **2.5 Ferramentas estatísticas do controle da qualidade**

As principais ferramentas do controle estatístico da qualidade (CEQ) são:

- Brainstorming;
- Folha de verificação;
- Fluxograma;
- Histograma;
- Diagrama de causa e efeito;
- Gráficos de controle;
- Índices de Capacidade Cp e Cpk;
- Análise de variância.

### **2.5.1 Brainstorming**

Esse é um método utilizado como um caminho para gerar idéias relacionadas a um tema de estudo específico. Normalmente diz respeito a reuniões entre as pessoas envolvidas com o problema em estudo, a fim de coletar opiniões sobre as suas causas, bem como possíveis soluções.

Diniz (2001) comenta que Brainstorming é um processo utilizado para solucionar problemas por meio da geração livre de idéias. Todas as idéias geradas são anotadas e

posteriormente analisadas pelos participantes do grupo, objetivando a superação da dificuldade em questão.

### **2.5.2 Folha de verificação**

É uma planilha ou formulário no qual os itens a serem verificados para a observação do problema já estão impressos com o objetivo de facilitar a coleta e organização dos dados para posterior análise.

### **2.5.3 Fluxograma**

Fluxograma é uma sequência cronológica das fases do processo, sendo também conhecido como mapeamento do processo. O mesmo deve ser construído com detalhes suficientes para diferenciar entre as atividades que adicionam valor ao processo e aquelas que não o fazem. O fluxograma normalmente é utilizado para analisar de forma sistêmica todas as atividades do processo, identificando oportunidades de intervenção e melhorias (MONTGOMERY, 2004).

### **2.5.4 Histograma**

Histograma é um gráfico de barras que dispõe informações e permite visualizar a distribuição de um conjunto de dados, a localização do valor central e a dispersão dos dados em torno deste valor central.

A comparação realizada com histogramas, utilizando limites de controles, permite avaliar se o processo está centrado no valor nominal e se é necessário fazer alguma intervenção para diminuir sua variabilidade (WERKEMA, 1995).

### **2.5.5 Diagrama de causa e efeito**

O diagrama de causa e efeito foi desenvolvido para representar a relação entre o efeito e todas as possibilidades de causa que podem contribuir para gerar esse efeito. Também é conhecido como diagrama de espinha de peixe ou diagrama de Ishikawa.

De acordo com Werkema (1995), o diagrama de causa e efeito é uma ferramenta que, além de sumarizar as possíveis causas do problema, também atua como guia para identificação de sua causa raiz e para a determinação das ações corretivas que devem ser empregadas em sua resolução. Ainda segundo o autor, é importante destacar que as causas relacionadas no diagrama de causa e efeito devem ser reduzidas, devendo ser utilizadas técnicas estatísticas para obtenção de resultados.

Conforme Vieira (1999, p.33), os procedimentos para a elaboração de um diagrama de causa e efeito são:

- a) Identificar o problema que se deseja investigar;
- b) Escrever o problema dentro de um retângulo, do lado direito da folha de papel e no final de um eixo;
- c) Escrever as causas primárias do problema sob investigação em retângulos e os dispor em torno do eixo. Ligar esses retângulos ao eixo por segmentos de reta;
- d) Identificar as causas secundárias dentro de cada causa primária e escrever estas ao redor das respectivas causas.

As causas primárias dos problemas que ocorrem nas indústrias em geral são: Máquinas (equipamentos), Materiais (insumos), Meio ambiente (condições do ambiente), Mão de obra (pessoas), Métodos (procedimentos de operação) e Medidas (informações do processo). A Figura 6 ilustra o diagrama de causa e efeito:

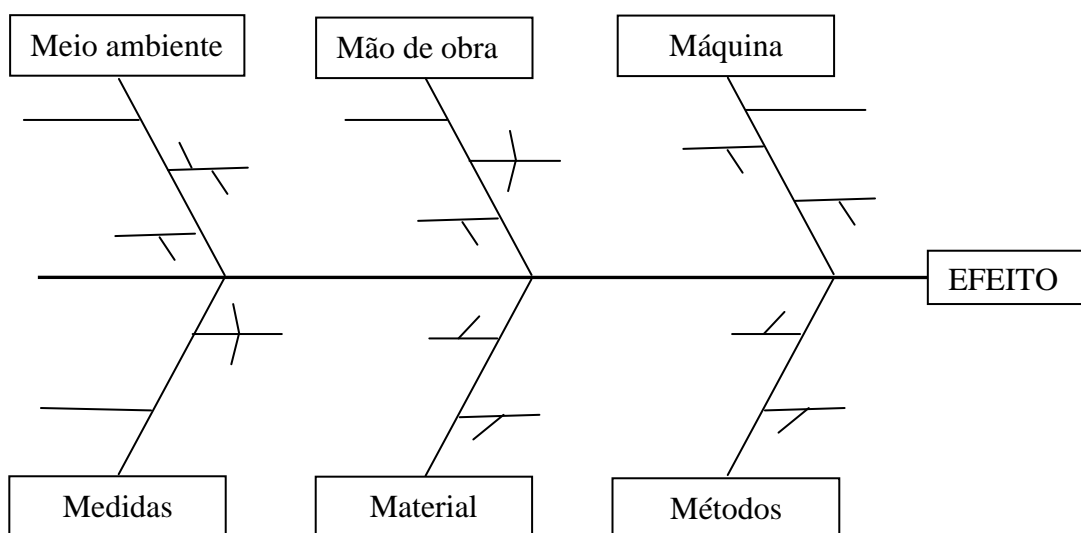


Figura 6 - Modelo do diagrama de causa e efeito.  
Fonte: Montgomery (2004, p. 112).

De acordo com Vieira (1999), o diagrama de causa e efeito é desenhado para ilustrar claramente as várias causas que afetam um processo, por classificação e relação das causas. Para cada efeito existem, seguramente, inúmeras causas dentro de categorias como as 6 M's: método, mão de obra, matéria-prima, máquinas, mensuração e meio ambiente. Nas áreas de serviços e processos transacionais utilizam-se como categorias básicas: procedimentos, pessoas, ponto, políticas, medição e meio ambiente.

Um diagrama de causa e efeito bem detalhado tomará a forma de uma espinha de peixe, daí o nome alternativo de diagrama espinha de peixe. A partir de uma lista definida de possíveis causas, as mais prováveis são identificadas e selecionadas para uma melhor análise. Ao examinar cada causa, deverão ser observados os fatos que mudaram, como por exemplo, desvios da norma ou dos padrões. É preciso lembrar-se de eliminar a causa e não o sintoma do problema. Deve-se também investigar a causa e os fatores que contribuem para sua ocorrência o mais profundamente possível.

### **2.5.6 Gráficos de controle**

O gráfico de controle foi desenvolvido pelo estatístico Dr. Walter A. Shewhart (1924), do Bell Telephone Laboratories, e é um critério para análise e ajuste da variação de um processo em função do tempo. Todos os processos, por mais bem planejados e operados que sejam, apresentam variabilidades.

Segundo Souza (2003), quando produzimos um bem ou serviço, suas características irão apresentar uma variação inevitável, devido às variações sofridas pelos fatores que compõem o processo produtivo. Essas diferenças podem resultar do método de operação entre operadores, mudanças de condições do ambiente, variações de lotes de matéria-prima, máquinas controladas e ajustadas de maneiras diferentes.

Para Walpole et al (2009) comentam que “o propósito do gráfico de controle é determinar se o desempenho de um processo está mantendo um nível de qualidade aceitável”.

Para Feigenbaum (1994), o gráfico de controle pode ser definido como um método gráfico para analisar se o processo está ou não sob controle estatístico.

O gráfico de controle é uma ferramenta estatística que alerta para a presença de grandes causas especiais em uma linha de produção (SAMOHYL, 2005).

Segundo Montgomery (2004, p. 99), “os gráficos de processo podem ser utilizados para estimar parâmetros de processo de produção e, através desta informação, determinar a capacidade do processo”. Eles têm como objetivo principal a eliminação da variabilidade. O

gráfico de controle apenas detectará as causas especiais, sendo que para a eliminação das mesmas, será necessária a ação da gerência e do operador, ou da engenharia de processo.

Os processos devem ser frequentemente monitorados para detectar a presença de causas especiais. Quando isso ocorrer, deve-se investigar, identificar e agir para eliminá-las (COSTA et al, 2005). Os autores citam que a principal ferramenta utilizada para monitorar os processos e verificar a presença de causas especiais são os gráficos de controle. Essa atividade de monitoramento e melhoria do processo pelo uso do gráfico de controle está ilustrada na Figura 7.

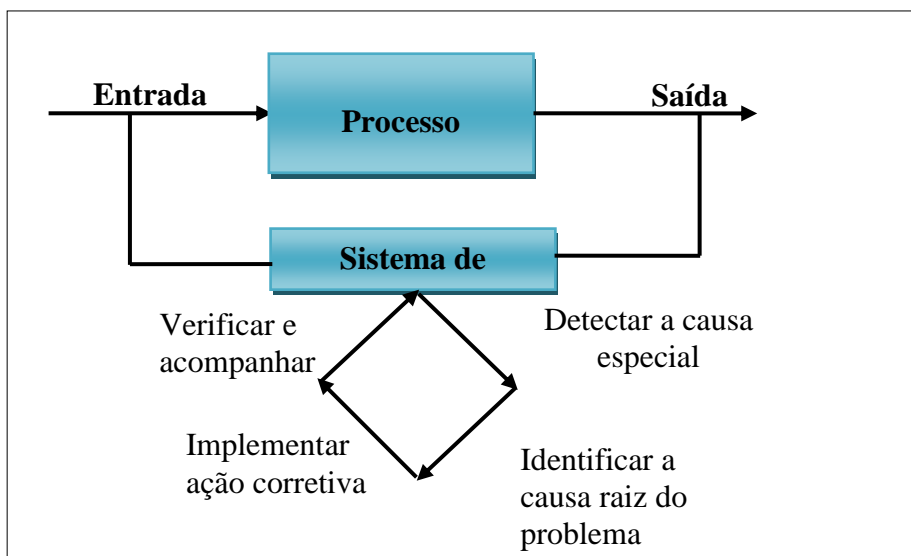


Figura 7 - Melhoria do processo com o uso do gráfico de controle.  
Fonte: adaptado de Montgomery (2004, p.99).

É importante destacar que um gráfico de controle não permite a identificação de quais são as causas especiais de variação que estão atuando em um processo fora de controle estatístico, mas ele processa e dispõe informações que podem ser utilizadas na identificação destas causas (WERKEMA, 1995).

De acordo com Montgomery (2004), o gráfico de controle é uma representação gráfica de uma característica da qualidade que foi medida e calculada a partir de uma amostra versus o número da amostra ou tempo.

O objetivo principal do uso do gráfico de controle é a busca pela melhoria dos processos. Vimos em geral que:

- a) A maioria dos processos não opera sob o estado de controle estatístico;
- b) A utilização dos gráficos de controle permite a identificação de causas especiais.

E se estas causas forem eliminadas, o processo entra no estado de sob controle;

- c) O gráfico de controle identificará a presença de causa especial. Para que a mesma seja eliminada, necessita da intervenção do operador, da gerência e da engenharia.

Na identificação e eliminação da causa especial, o fator mais importante é descobrir a causa raiz que ocasionou o problema e exterminá-la. Uma solução paliativa não resultará em melhora para o processo, pois, em longo prazo, o problema voltará a ocorrer. O desenvolvimento de um sistema eficaz para ações corretivas é essencial para uma implementação eficaz do CEP.

### **2.5.6.1 Tipos de gráficos de controle**

Vieira (1999) e Ramos (2000) normalmente costumam dividir os gráficos de controle em duas grandes categorias: variáveis e atributos.

- 1) Variáveis: referem-se às características cujo valor é resultado de algum tipo de medição (peso, comprimento, altura, densidade, resistência e concentração, etc.) Exigem medições em uma escala contínua.
- 2) Atributos: referem-se às características cujo resultado é decorrente de uma classificação ou contagem (numero de defeitos, numero de erros, etc.) Exige somente uma classificação de medições descontínuas como boa ou má.

O gráfico de controle típico exibe três linhas paralelas (VIEIRA, 1999):

- A Linha central que representa o valor médio do característico de qualidade (LM);
- A linha superior, que representa o limite superior de controle (LSC);
- A linha inferior, que representa o limite inferior de controle (LIC);

Os pontos representam as amostras retiradas em vários momentos. É usual unir os pontos por segmentos da reta, para melhor visualizar a evolução da característica de qualidade ao longo do tempo. A Figura 8 ilustra um gráfico típico de controle.

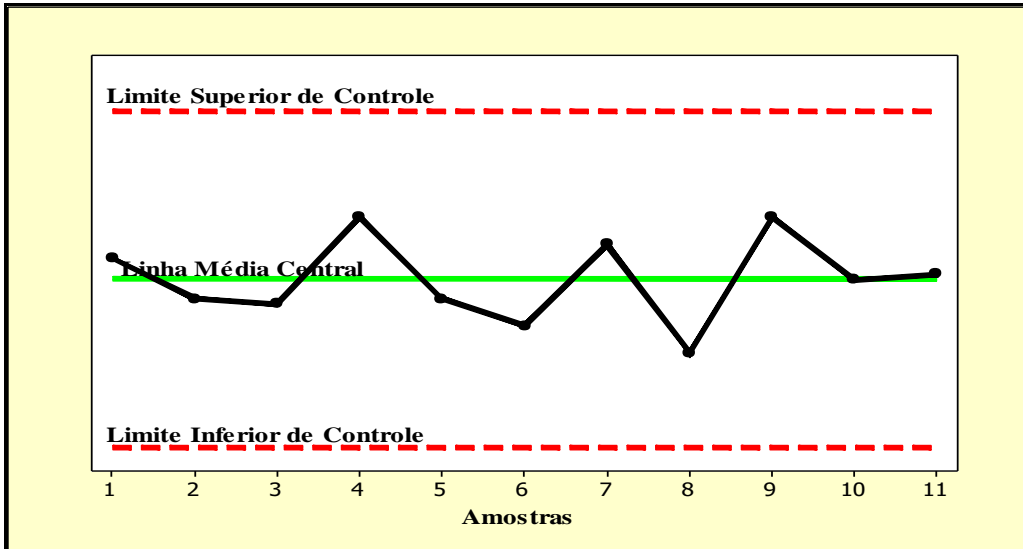


Figura 8 - Exemplo de gráfico típico de controle.  
 Fonte: Adaptado de Vieira (1999).

Segundo Souza (2003), com a interpretação dos gráficos de controle, pode-se observar o comportamento do processo e dizer se o mesmo está ou não sob o controle estatístico. Assim, se todos os pontos traçados no gráfico estiverem ou não dentro dos limites de controle, sem qualquer tendência particular, ou seja, a disposição dos mesmos sendo aleatória, afirma-se que o processo está sob controle estatístico. Um ou mais pontos fora do limite de controle ou em disposição não aleatória indicam a presença de causas especiais de variações, assim, indicam que o processo está fora de controle estatístico. Deve-se identificar, investigar e eliminar os fatores que causam esta variação.

A partir do momento em que o processo se encontra dentro dos limites de controle, a atenção passa para o estudo do comportamento da linha traçada pelos demais dados registrados no gráfico.

Segue abaixo alguns padrões típicos de gráficos de comportamento não aleatório:

-Periodicidade: é quando a linha apresenta subidas e descidas em intervalos regulares de tempo (Figura 9), aparecem quando uma das condições de operação do processo, como por exemplo, operador, troca de turno, pressão, temperatura, entre outros, sofre mudanças periódicas.

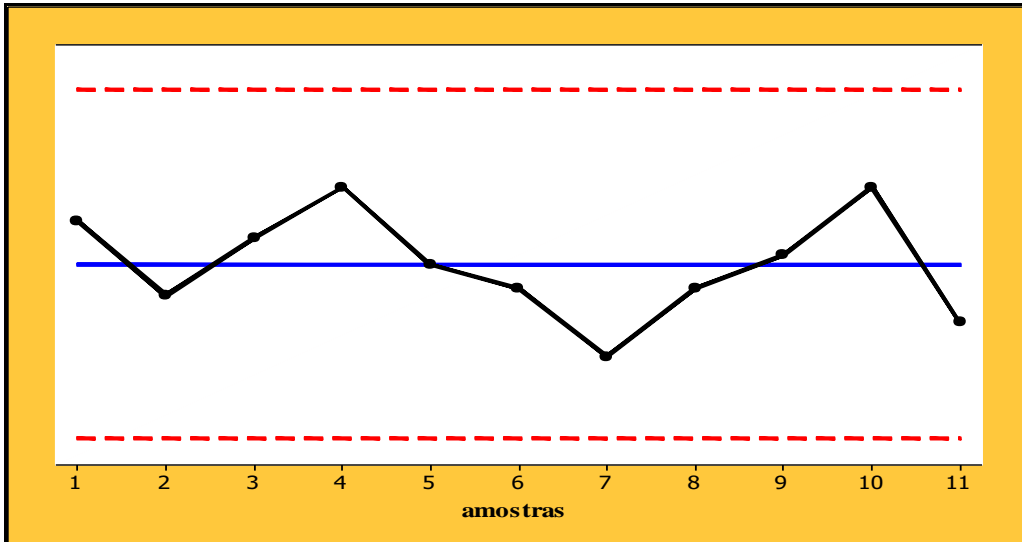


Figura 9 - Exemplo de periodicidade em gráfico de controle.  
 Fonte: Adaptado de Vieira (1999).

-Tendência: é quando os pontos se direcionam nitidamente para cima ou para baixo (Figura 10). É um exemplo típico de desgaste ou deterioração de algum fator crítico do processo, como: desgaste de uma ferramenta ou operadores cansados.

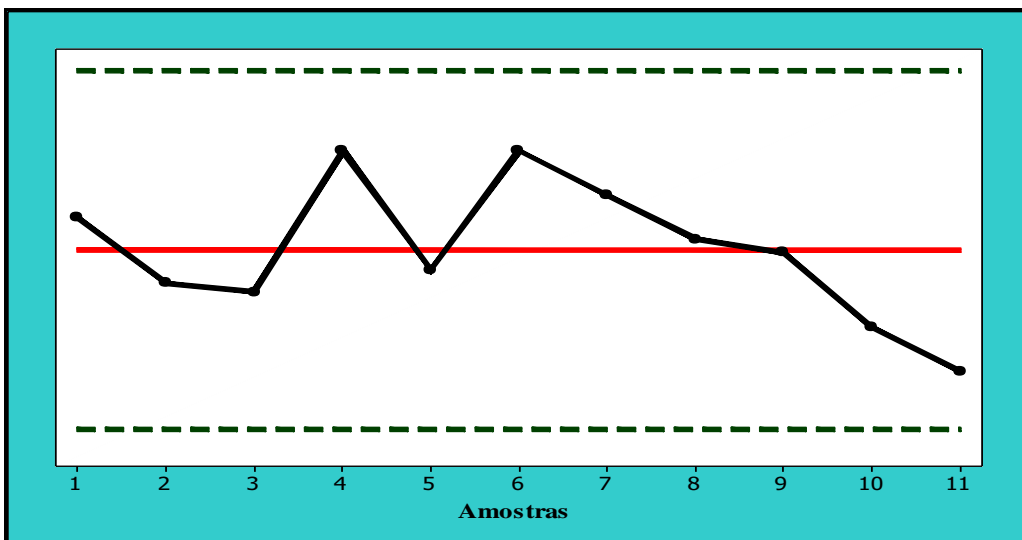


Figura 10 - Exemplo de tendência em gráfico de controle  
 Fonte: Adaptado de Vieira (1999).

- Deslocamento: é quando ocorre mudança no nível de desempenho do processo (Figura 11), podem ser justificados pela introdução de novas máquinas, de novos operadores, novos métodos ou, até mesmo de um programa de qualidade.



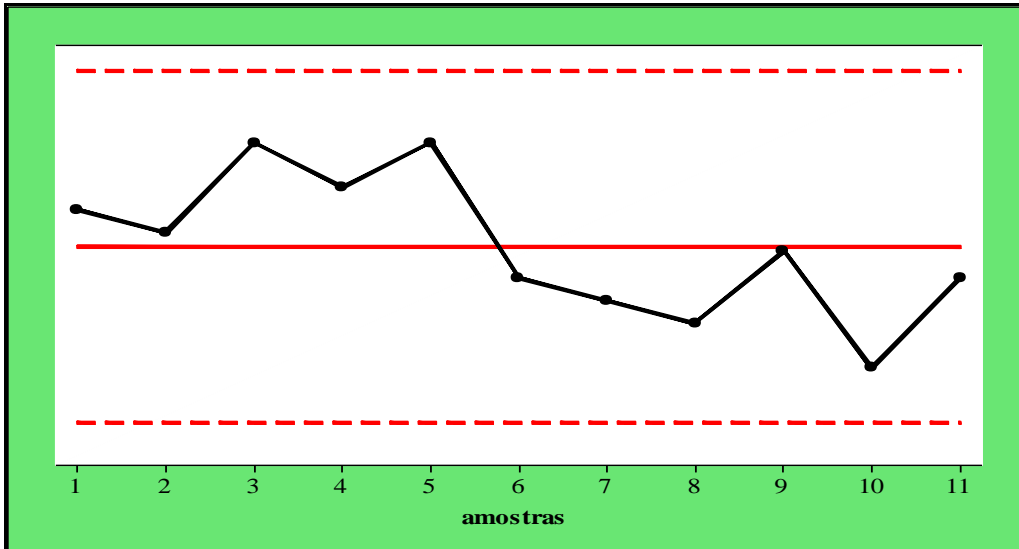


Figura 11 - Exemplo de deslocamento em gráfico de controle.  
 Fonte: Adaptado de Vieira (1999).

De acordo com Vieira (1999), além dos padrões típicos de comportamentos não aleatórios, existe outra disposição de pontos que indica processo fora de controle: isso se dá quando ocorre uma sequência de mais de 6 pontos consecutivos de um só lado da linha da média.

Para Costa et al (2005) pode-se intervir no processo quando sete pontos consecutivos estiverem acima ou abaixo da linha da média.

### 2.5.6.2 Construção de um gráfico de controle

De acordo com Ramos (2000), durante a construção de um gráfico de controle existem vários fatores que devem ser observados para garantir uma correta análise. Seguem abaixo os passos que devam ser seguidos para construção e análise de um gráfico de controle:

- 1) Coletar dados durante certo período de tempo, até que todos os tipos de variação, as quais estejam interessadas em avaliar, tenham oportunidade de aparecer;
- 2) Calcular as estatísticas que resumem a informação contida nos dados (médias, amplitudes, desvios-padrões, proporções, número de defeitos, etc.);
- 3) Calcular os limites de controle com base nas estatísticas;
- 4) Marcar os pontos (estatísticas) nos gráficos de controle e uni-los para facilitar a visualização do comportamento do processo;
- 5) Marcar os limites de controle;

- 6) Analisar os gráficos de controle quanto à presença de causas especiais;
- 7) Quando forem detectadas causas especiais, buscar identificar, eliminar e prevenir a sua repetição.

Para Vieira (1999) o primeiro critério de seleção de um tipo de gráfico é a avaliação seguida do tamanho da amostra e a frequência de amostragem. O Quadro 2 mostra alguns gráficos de controle por variáveis e o Quadro 3, um dos tipos de gráfico de controle por atributos, identificando suas características, vantagens, desvantagens, tamanho da amostra e suas respectivas fórmulas.

GRÁFICO	USO TÍPICO	VANTAGENS	DESVANTAGENS	SISTEMA DE AMOSTRAGEM	FÓRMULAS
$\bar{X} - R$ (variável)	-Monitora a variação da média e da amplitude	-Apresenta facilidade na elaboração dos cálculos	- Indica com menor segurança a variabilidade do processo	n < 10 e constante (normalmente entre 4 e 6)  m = 20 a 25	$LSC_X = \bar{X} + A_2 * \bar{R}$ $LM_X = \bar{X}$ $LIC_X = \bar{X} - A_2 * \bar{R}$ $LSC_R = D_4 * \bar{R}$ $LM_R = \bar{R}$ $LIC_R = D_3 * \bar{R}$
$\bar{X} - s$ (variável)	- Monitora a variação da média e do desvio padrão	- Uma ótima visão da variação estatística de um processo.  -Indica com maior segurança a variabilidade do processo.	-Apresenta maior dificuldade operacional	n > 10  Pode ser variável	$LSC_X = \bar{X} + A_3 * \bar{s}$ $LM_X = \bar{X}$ $LIC_X = \bar{X} - A_3 * \bar{s}$ $LSC_s = B_4 * \bar{s}$ $LM_s = \bar{s}$ $LIC_s = B_3 * \bar{s}$

Quadro 2 - Tipos de gráficos de controle por variável  
Fonte: Souza (2003, p.39).

$\bar{X}$  = média

$\bar{R}$  = amplitude média

$\bar{s}$  = desvio padrão médio

$A_2$ ,  $D_4$ ,  $D_3$ ,  $B_4$  e  $B_3$  = valores obtidos de pesquisa em tabelas adequadas

n = tamanho da amostra

m = número de amostras

GRÁFICO	CARACTERÍSTICA	VANTAGEM	DESVANTAGEM	TAMANHO DA AMOSTRA	FÓRMULAS
p proporção/ ou fração de defeituoso  (atributos)	- Quando o característico de qualidade do interesse é representado pela proporção de itens defeituosos (d)	- Usado nos casos onde não é possível realizar medições.  - A amostra (n) pode ser variável	- Mais complexas de usar com amostras de tamanho variável por exigir mais cálculos.	n pode ser variável	$LSC_x = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$ $\bar{p} = \frac{\sum d}{\sum n}$ $LSC_x = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$

Quadro 3 - Tipo de gráfico de controle por atributo.

LSC = Limite Superior de Controle

LIC = Limite Inferior de Controle

d = número de peças defeituosas

$\bar{p}$  = fração defeituosa

A Figura 12 mostra a sequência para construir um gráfico de controle para variáveis.

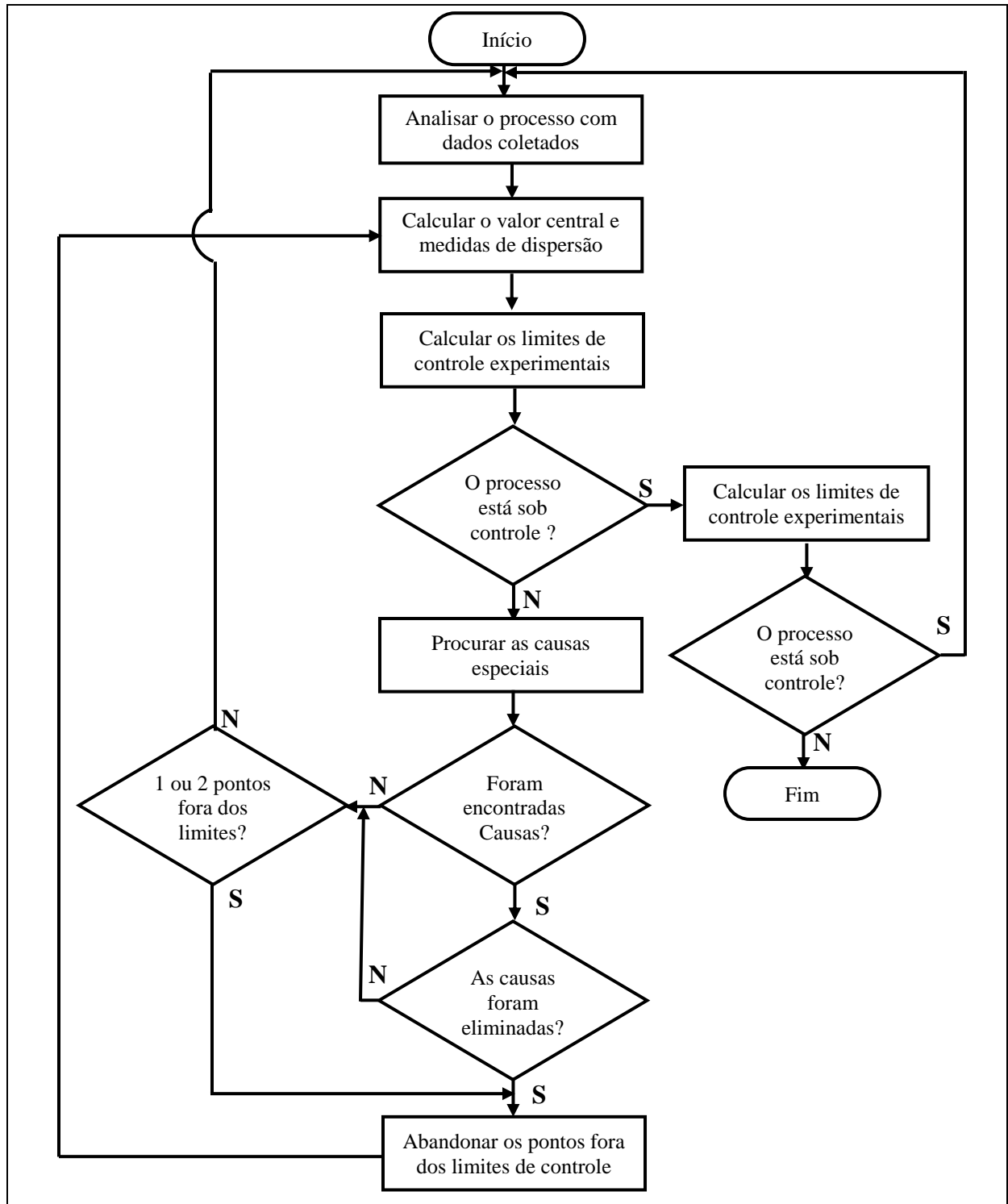


Figura 12 - Fluxograma de construção e utilização de gráficos de controle por variáveis  
 Fonte: Soares (2001, p. 51).

### 2.5.7 Capabilidade ou capacidade de processo

Os índices que medem a capacidade do processo surgiram na década de 20, com estudos realizados sobre o Controle Estatístico do Processo pelo Dr. Walter Shewhart do Bell Laboratories.

A análise da capacidade do processo é uma técnica estatística que compara a variabilidade do processo com as especificações de engenharia do produto ou processo. A análise é realizada baseada em um grupo de índices denominados: Índice de capacidade e Índice de desempenho do processo.

A capacidade ou capabilidade do processo tem como objetivo básico fornecer informações para verificar e medir se um processo tem condições de atender às especificações de engenharia e às especificações determinadas pelos clientes internos e externos (WERKEMA, 1995).

Na realização dos estudos da capacidade do processo, dois cuidados devem ser observados para que os resultados tenham sentido:

- 1) O processo deve ser estável (isento de causas especiais de variação) e os valores individuais devem seguir a distribuição normal;
- 2) Se o processo não for estável, não há sentido verificar sua capacidade, pois o seu comportamento não será previsível e, conseqüentemente, não se pode analisar o atendimento às especificações de engenharia do processo ou produto com base nas amostras fornecidas por ele.

O índice de capacidade do processo ( $C_p$ ) possibilita comparar a variação (dispersão) total permitida pelos limites de especificação com a variação consumida pelo processo. O índice de desempenho do processo ( $C_{pk}$ ), objetiva analisar a distância da média do processo ( $\bar{X}$ ) aos limites de especificação, tomando aquela que é a menor e, portanto, mais crítica em termos de chances de serem produzidos itens fora de especificação (RAMOS, 2000). O índice  $C_{pk}$  é definido como sendo o menor valor entre  $C_{pi}$  e  $C_{ps}$ , ou seja:  $C_{pk} = \min [ C_{pi}, C_{ps} ]$ .

$C_p$  e  $C_{pk} \geq 1,33$  indicam que o processo é capaz de atender à especificação.

Os cálculos dos índices de capacidade ( $C_p$  e  $C_{pk}$ ) são obtidos pelas fórmulas:

Especificações Bilaterais:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad 2.1$$

Especificações Unilaterais:

$$Cp_s = \frac{LSE - \bar{X}}{3\hat{\sigma}} \quad 2.2$$

$$Cp_i = \frac{\bar{X} - LIE}{3\hat{\sigma}} \quad 2.3$$

$\hat{\sigma}$  = desvio padrão estimado

$LSE$  = Limite Superior de Especificação

$LIE$  = Limite Inferior de Especificação

$Cp$  = Índice de Capacidade de processo

$Cpk$  = Índice de desempenho de processo

$Cp_s$  = Índice de Capacidade Superior

$Cp_i$  = Índice de Capacidade Inferior

$\bar{X}$  = Média

Se a diferença entre os limites superior de especificação ( $LSE$ ) e o limite inferior de especificação ( $LIE$ ) for igual a seis vezes o valor do desvio padrão, isto é ( $C_p=1$ ), presume-se que aproximadamente 0,27% da produção estarão fora dos limites de controle e por isso é considerado aceitável, e 99,73% dos resultados está dentro dos limites de controle. Valores de  $C_p$  menores que 1,0 fazem com que o processo seja considerado como incapaz de atender à especificação; valores maiores e iguais a 1,33 são considerados adequados, isto é, o processo é capaz de atender à especificação.

$C_p$	Nível do Processo
$C_p \geq 1,33$	Processo Capaz (verde)
$1 \leq C_p < 1,33$	Processo Razoável (Amarelo)
$C_p < 1$	Processo Incapaz (Vermelho)

Quadro 4: Classificação de processos segundo o índice  $C_p$   
 Fonte: adaptado de Werkema (1995, p.44).

A Tabela 1 mostra diversos valores da razão da capacidade de um processo, com os valores associados das falhas apresentadas, expressos em peças defeituosas ou unidades não-conformes produzidas por milhão (ppm). Essas quantidades foram calculadas considerando algumas informações importantes como:

- a) A variável da qualidade tem distribuição normal;
- b) O processo deve estar sob controle estatístico;
- c) Quando existir especificações bilaterais, a média do processo deve estar centrada entre os limites de especificação inferior e superior.

Estas informações devem ser consideradas para que os dados obtidos tenham precisão e validade.

Tabela 1 - Valores da capacidade de um processo ( $C_p$ ) e falhas associadas (em ppm).

CP	Falhas do Processo (em ppm defeituosas)	
	Especificações Unilaterais	Especificações Bilaterais
0,25	226.628	453.255
0,50	66.807	133.614
0,60	35.931	71.861
0,70	17.865	35.729
0,80	8.198	16.395
0,90	3.467	6.934
1,00	1.350	2.700
1,10	484	967
1,20	159	318
1,30	48	96
1,40	14	27
1,50	4	7
1,60	1	2
1,70	0,17	0,34
1,80	0,03	0,06
2,00	0,00009	0,0018

Fonte: Montgomery (2004, p. 226)

Montgomery (2004) estabelece valores mais arrojados para o índice de capacidade do processo, pois, a busca por estes valores aumenta a eficiência do processo e reduz os desperdícios. A Tabela 2 ilustra os valores sugeridos pelo autor considerando processos existentes e novos.

Tabela 2 - Valores mínimos recomendados da razão da capacidade do processo

	Especificações	
	Bilaterais	Unilaterais
Processos Existentes	1,33	1,25
Processos novos	1,50	1,45
Segurança e força processo existente	1,50	1,45
Segurança e força processo novo	1,67	1,60

Fonte: Montgomery (2004, p.227)

$C_{pk}$	INTERPRETAÇÃO	AÇÕES PERTINENTES	RELAÇÃO DO VALOR NOMINAL E A LINHA CENTRAL DO PROCESSO
$C_{pk} \geq 2,0$	PROCESSO EXCELENTE Altamente confiável	Os operadores têm perfeito controle do processo	<b>Se <math>C_p = C_{pk}</math> <math>\Rightarrow</math></b> Processo Centrado  <b>Se <math>C_{pk} \neq C_p</math> <math>\Rightarrow</math></b> Processo está fora do alvo
$1,33 \leq C_{pk} \leq 2,0$	PROCESSO CAPAZ Relativamente confiável	Os operadores têm que monitorar para evitar deterioração	
$1,00 \leq C_{pk} < 1,3$	PROCESSO RELATIVAMENTE INCAPAZ Pouco confiável	Exige dos operadores controle contínuo	<b><math>C_{pk} &lt; C_p</math>.</b> Processo está fora do alvo, mas está dentro dos limites de especificação
$0 < C_{pk} < 1$	PROCESSO INCAPAZ Podemos ter produção defeituosa	Exige dos operadores controle de 100% da produção	<b><math>C_{pk} &lt; C_p</math>.</b> A linha central do processo está dentro ou coincidindo com um dos limites de especificação (podemos ter 50% de produção acima ou abaixo dos limites)
$C_{pk} < 0$	PROCESSO TOTALMENTE INCAPAZ Não tem condições de manter as especificações		<b><math>C_{pk} &lt; C_p</math>.</b> A linha central do processo está fora dos limites de especificação <b>Se <math>C_{pk} &lt; -1 \Rightarrow</math></b> toda a produção está fora dos limites de especificação

Quadro 5 - Interpretação do índice de desempenho do processo ( $C_{pk}$ ).

Fonte: Vieira (1999, p.158).



### 2.5.8 Análise de variância

No estudo de comparação entre médias, utiliza-se uma técnica desenvolvida por Sir R.A Fisher, quando da realização de experimentos agrícolas conhecida como análise de variância ou ANOVA (Analysis of Variance). O estudo das variâncias, poderá informar se as médias populacionais são iguais ou diferentes (MARTINEZ, 2007). Ela (ANOVA) estuda de maneira ampla um conjunto de situações experimentais envolvendo procedimentos estatísticos na análise de respostas quantitativas. A análise de variâncias mais simples é conhecida por fator único, classificação única ou unidirecional. O fator é a característica que diferencia os tratamentos ou populações entre si, enquanto que os tratamentos ou populações diferentes são denominados de níveis do fator (DEVORE, 2006).

De acordo com Drumond et al (1996), a análise de variância permite verificar com grau de confiança conhecido, se existem ou não diferenças significativas entre as médias de mais de duas populações.

Para Costa Neto (2002), a análise de variância é uma metodologia utilizada para identificar diferenças entre as médias populacionais devidas a várias causas atuando simultaneamente sobre os elementos da população.

#### 2.5.8.1 Análise de variância com um fator

A ANOVA de fator único concentra-se na comparação de mais de duas médias populacionais, considerando que existem k amostras de tamanho n, retiradas de k populações cujas médias são  $\mu_i$ , ( $\forall_i = 1, 2, \dots, k$ ).

A hipótese nula, a ser testado será do tipo:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k \quad 2.4$$

Contra a alternativa de que pelo menos uma delas é diferente (COSTA NETO, 2002).

Consideram-se as médias  $\mu_i$  escritas sob a forma  $\mu_k + f_i$ ,  $\forall_i = 1, 2, \dots, k$ , então pode-se escrever a expressão (2.6) na forma:

$$H_0: f_1 = f_2 = \dots = f_k = 0 \quad 2.5$$

As hipóteses apresentadas, necessárias à aplicação do modelo, consideram que todas as  $k$  populações tenham a mesma variância (homocedasticidade) e que a variável em discussão seja normalmente distribuída em todas as populações.

### 2.5.8.2 Análise de variância com dois fatores

Nesta análise, os elementos observados serão classificados segundo dois critérios A e B, constituindo duas classificações cruzadas. Existem  $n.k$  observações, formadas por  $k$  amostras de  $n$  elementos, segundo outro critério, constituindo uma matriz de  $k$  linhas e  $n$  colunas.

De acordo com Drumond et al (1996), na análise de variância com dois fatores é avaliada a influência exercida por dois fatores de um processo sobre uma característica da qualidade que se busca avaliar.

As hipóteses a serem testadas serão da forma:

$$H_{01}: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k \quad 2.6$$

$$H_{02}: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_n \quad 2.7$$

Onde a não aceitação de  $H_{01}$  indica que existe diferença significativa entre as médias, a um determinado nível de confiança devido à classificação segundo o critério de linhas. De modo análogo, a não aceitação de  $H_{02}$  indica que existe diferença significativa, segundo o critério de colunas.

### 2.5.8.3 Interpretação do valor-p no teste de hipótese

De acordo com Montgomery e Runger (2003, p.150) “uma maneira de reportar os resultados de um teste de hipóteses é estabelecer que a hipótese nula foi ou não rejeitada a um valor especificado de significância”.

Os softwares estatísticos utilizados incluem automaticamente um valor-p, quando da realização de um teste de hipóteses, podendo-se tirar conclusões, sem a necessidade de consultar a tabela p de valores críticos (DEVORE, 2006).

Quando o valor-p calculado for inferior a significância estabelecida à hipótese nula é rejeitada e verifica-se que existem diferenças significativas (SOARES, 2006).

Após a determinação do valor-p, a conclusão para qualquer significância é dada pela comparação do valor-p com a significância estabelecida, isto é:

$p \leq \alpha$  : rejeita-se  $H_0$  ao nível  $\alpha$  .

$p > \alpha$  : não se rejeita  $H_0$  ao nível  $\alpha$  .

#### **2.5.8.4 Método de Tukey para comparação das médias**

Quando se verifica que existe diferença significativa entre tratamentos, por meio da ANOVA, pode-se avaliar a magnitude destas diferenças utilizando um teste de comparações múltiplas.

De acordo com Costa Neto (2002), o teste de Tukey é o mais eficiente, porque utiliza valores críticos da amplitude studentizada. Tukey apresenta um critério e define um valor D, de forma que, se a diferença entre duas médias supera esse valor, então, conclui-se (nos universos) que os tratamentos apresentam diferenças estatisticamente significativas.

## **2.6 Filtração a vácuo**

A filtração a vácuo é um método de separação por pressão, que utiliza como meio filtrante primário, tecidos de fibras naturais, metálicos (chapas perfuradas ou telas), fios sintéticos ou mistos. O meio filtrante secundário requer um meio poroso, chamado de torta, formado pelo próprio material sólido que fica retido na tela metálica (chapas perfuradas), que retém as partículas sólidas, permitindo a passagem dos fluidos denominados de caldo turvo e caldo claro. Ainda segundo o autor, a filtração é uma ferramenta eficiente para realizar a separação de partes indesejáveis de um processo. No caso das usinas de açúcar, faz-se a separação do açúcar contido no lodo das impurezas (POLONIO, 2004).

Segundo Hugot (1969), o objetivo da filtração de lodo da decantação é processá-lo integralmente, obtendo uma torta com a menor porcentagem possível de açúcares, sendo o seu melhor parâmetro o valor de 1,0 pol. O autor define como pol a sacarose aparente contida em qualquer substância, sendo determinada pelo método de polarização expressando o conteúdo percentual em massa de sacarose dissolvida em solução.

### 2.6.1 Filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo

Os filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo são utilizados nas usinas de açúcar de cana para filtrar o lodo proveniente dos decantadores e recuperar a sacarose contida no mesmo. Sua parte periférica constitui-se de um tambor rotativo dividido em diversos setores que são imersos em uma bacia com agitador, contendo o lodo que será filtrado. Cada setor é ligado ao cabeçote em suas extremidades por feixe tubular que classificam os níveis de vácuo e a função de cada setor, formação da torta, desidratação da torta, lavagem e secagem da torta (POLONIO, 2004).

Segundo Hugot (1969), o filtro consiste de um tambor suspenso que gira em seu próprio eixo dentro de uma bacia que contém o lodo, que é o líquido a ser filtrado. Sua parte periférica forma a superfície filtrante e está dividida em diversas seções longitudinais, sendo cada tubo coberto com uma tela fina e tendo um sistema de tubos que liga a seção com a extremidade do filtro. Uma válvula é instalada de tal maneira que controla o vácuo aplicado a cada seção longitudinal.



Figura 13 - Fotografia de um filtro de tambor rotativo contínuo a vácuo com dimensões de 4.270 mm diâmetro por x 12.190 mm de comprimento.

Fonte: Mause disponível em: <http://www.mause.com.br/portugues/default.htm> > 2008.

### 2.6.2 Parâmetros de operação de um filtro rotativo contínuo a vácuo

Segundo Payne (1990 apud POLONIO, 2004), o padrão desejado para a pol da torta é de 1% (considerando-se uma cana de boa qualidade).

Segundo Dorr Oliver (1969 apud POLONIO, 2004), os principais fatores que interferem no desempenho de qualquer filtro são: ciclo de operação, temperatura de alimentação do lodo, viscosidade de alimentação, concentração de sólidos no lodo, análise granulométrica dos sólidos, velocidade do agitador, pH do lodo, adição de floculante, tempo de formação da torta, tipo de meio filtrante, vácuo aplicado, lavagem e secagem da torta e produtos auxiliares de filtração.

Tabela 3 - Parâmetros de operação de filtro rotativo contínuo a vácuo.

Parâmetros	Valores
Rotação do tambor variável	Até 6 minutos por volta
Velocidade periférica	1.597 mm por minuto
Espessura da camada da torta	de 8 a 10 mm
Diferencial de vácuo alto	de 66,6 a 74,7 kPa
Diferencial de baixo vácuo	de 24,0 a 33,3 kPa
Quantidade de bagacilho	de 6 a 7 Kg por tonelada de cana moída
Sistema de lavagem com água limpa	Temperatura de 80 °C
Tipo de aplicação da água de lavagem	Pulverizada sobre a camada de torta
Quantidade de água para lavagem	Aproximadamente 70 litros por TCH moída

Fonte: Mause (1999 apud POLONIO 2004, p.26).

Segundo Hugot (1969), o processo de filtração é difícil de ser controlado e regulado. O parâmetro de análise da pol da torta é o melhor indicador para avaliar o desempenho dos filtros. A perda de açúcar na torta varia de 0,5 a 3%, geralmente ficando entre 1 e 3%.

Quando calculada a perda desse processo que leva em consideração a pol da torta e a quantidade de torta produzida, este valor varia de 0,2 a 0,8 % do açúcar contido na cana, ou seja, da quantidade total de açúcar processado na usina se perde de 0,2 a 0,8 %.

Para controlar este processo é preciso analisar as seguintes variáveis:

- a) Disponibilidade de área de filtração em quantidade suficiente (0,6 m<sup>2</sup> por tonelada de cana moída). Nos dias atuais, algumas usinas estão buscando valores superiores, chegando a 1,0 m<sup>2</sup> por tonelada de cana moída, objetivando chegar a 0,3% de açúcar perdido na torta;
- b) Temperatura do lodo não deve ser menor que 80 °C, pois diminui a viscosidade e solidifica as gomas e ceras;

- c) A água de lavagem da torta deve ter temperatura superior a 80 °C, e a quantidade de aproximadamente 70 litros por tonelada de cana moída;
- d) A velocidade de rotação do tambor do filtro deve estar entre 10 a 15 rotações por hora; velocidades menores melhoram a redução da pol da torta;
- e) A espessura da torta deve estar entre 7 a 10 mm;
- f) A quantidade do auxiliar filtrante, o bagacilho, deverá estar na faixa de 3,0 a 5,0 kg por tonelada de cana moída;
- g) Umidade da torta deve estar entre 65 a 80%. Quanto menor a umidade, menor será a quantidade de torta produzida e, conseqüentemente, menor a perda;
- h) Pressão do alto vácuo deve estar entre 18 a 20 polegadas de mercúrio;
- i) Pressão do baixo vácuo deve estar ente 7 a 10 polegadas de mercúrio;
- j) A retirada de lodo dos decantadores deve ser controlada, ajustando sua retirada de modo que lodo menos denso não seja enviado aos filtros;

A capacidade de filtração e a eficiência da operação dependem, até certo ponto, da velocidade de rotação do tambor do filtro, que é expressa em voltas por hora. Em geral, quanto menor a rotação do tambor do filtro, melhor será a eficiência na redução da pol da torta e na umidade, e mais baixa a capacidade de remoção do lodo. A quantidade de água a ser aplicada para lavagem da torta também é um fator determinante para a eficiência do processo de filtração.

### **2.6.3 Lodo de caldo de cana de açúcar**

A decantação tem a finalidade de separar o caldo limpo das impurezas. Neste processo temos:

- a) O caldo clarificado que é aquecido e enviado para a evaporação;
- b) O lodo que é retirado pelo fundo do decantador e bombeado ao processo de filtração.

Segundo Geplacea (1990 apud POLONIO, 2004), o lodo de caldo de cana é definido como um resíduo em forma líquida que é eliminado no processo de decantação do caldo de cana, ou resíduo obtido por sedimentação da suspensão do caldo. Sua composição depende de vários fatores agroindustriais como: variedade de cana, qualidade da matéria-prima, tipo de colheita (mecanizada ou manual); deve-se considerar também que no período de colheita a umidade é aumentada e, conseqüentemente, a quantidade de terra. Ainda segundo o autor, o lodo contém grande parte de matéria orgânica coloidal dispersa no caldo.

De acordo com Payne (1990 apud POLONIO, 2004), denomina-se lodo o material separado por sedimentação no decantador e enviado para o filtro rotativo a vácuo, para a remoção da maior parte do material insolúvel com posteriores etapas de lavagem e secagem, para a máxima extração da sacarose ainda contida.

Hugot (1969) cita que o lodo proveniente dos decantadores de caldo é composto de 5 a 10 % de sólidos insolúveis e de 12 a 18 % de sólidos dissolvidos (açúcares, na maior parte sacarose).

#### **2.6.4 Mecanismos de filtração, formação, desidratação, lavagem, secagem e descarga da torta**

De acordo com Polonio (2004), as etapas de filtração são: formação e desidratação com baixo vácuo e, na sequência, as etapas de lavagem e secagem com alto vácuo, finalizando o ciclo com a descarga sem a presença de vácuo, conforme a Figura 14.

O cabeçote separa, respectivamente, em seu setor de baixo vácuo, o caldo turvo e, no setor do alto vácuo, o caldo filtrado claro que é diluído pela água de lavagem.

As etapas de filtração são:

Formação da torta: é a etapa em que inicia a filtração e ocorre nos setores do filtro rotativo que estão imersos na bacia em contato com a solução a ser filtrada, primeiramente sem a ação de sucção pelo vácuo. Após esta etapa e na continuidade do giro do tambor, é aplicado o vácuo baixo de 7 a 10 polegadas de mercúrio, que aspira o lodo de caldo de cana para o elemento filtrante primário (chapa perfurada em aço inox), tornando crescente a espessura da torta de filtro e extraindo o caldo turvo.

Desidratação da torta: os setores imersos para fora da bacia e ainda com a presença do baixo vácuo, sugam a parte líquida do caldo turvo contido na torta que está exposta à atmosfera, sem que seja aspirado ar nessa etapa, até o início da lavagem da torta.

Lavagem da torta: é a etapa em que os setores giram e são submetidos à pressão do alto vácuo de 18 a 20 polegadas de mercúrio e ocorre a aplicação de água quente sobre a torta, gerando o caldo claro aspirado, com o objetivo de extrair o máximo de açúcares contido na torta. De acordo com Hugot (1969), é mais importante a eficiência na lavagem da torta que a quantidade de água empregada. Payne (1990 apud POLONIO, 2004) cita que a camada de torta deve estar uniformemente coberta, ou seladas as telas do filtro para evitar a passagem de ar durante o ciclo de lavagem e evitar, assim, a queda na pressão de vácuo.

Secagem da torta: é a etapa em que o tambor continua girando e o líquido contido na torta é aspirado pela pressão do alto vácuo até que ocorra o final da filtração, sendo caracterizada com a passagem de ar pela torta com o objetivo de reduzir a sua umidade. Nesta etapa, o caldo extraído ainda continua sendo o caldo claro.

De acordo com Polonio (2009) os filtros de tambor rotativos contínuos a vácuo operam com a umidade da torta na faixa de 71 a 78%.

A Figura 14 ilustra as etapas do processo de filtração para filtro de tambor rotativo a vácuo.

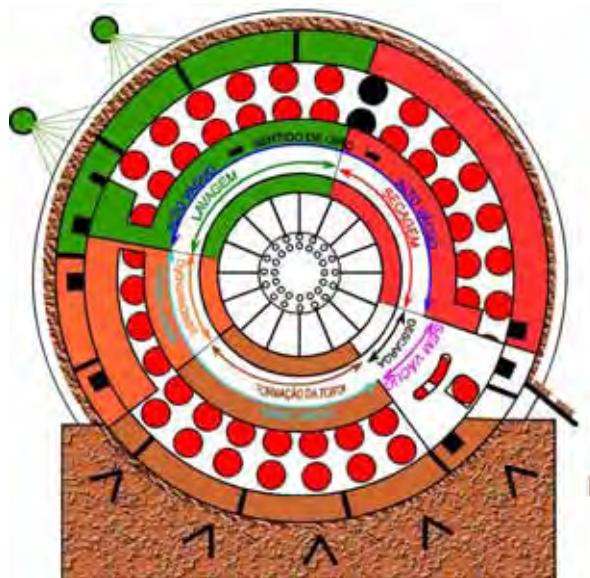


Figura 14: Etapas de operação em um filtro de tambor rotativo contínuo a vácuo.  
Fonte: Polonio (2004, p.9).

### 2.6.5 Torta de filtro

Segundo Belai (2006), torta de filtro (figura 15) é um resíduo composto da mistura de bagaço moído de cana de açúcar captado na esteira na saída da moenda e lodo da decantação proveniente do processo de clarificação do açúcar. Para cada tonelada de cana moída são produzidos de 30 a 40 kg de torta. A torta de filtro é um composto orgânico (85% da sua composição) com altas concentrações de cálcio, nitrogênio, potássio e fósforo, com composições variáveis de acordo com o tipo de variedade da cana.

De acordo com Proença (2008) a torta de filtro é considerada um excelente fertilizante, utilizado como adubo para ajudar no brotamento da cana.





Figura 15 - Fotografia da torta de filtro.

Fonte: Fotografia obtida na esteira do processo filtração da usina (2008).

### **3 METODOLOGIA UTILIZADA PARA AVALIAR A VARIABILIDADE DO PROCESSO DE FILTROS DE TAMBOR ROTATIVO CONTÍNUO A VÁCUO**

A pesquisa teve uma aplicação prática com uma abordagem científica sendo, nesse aspecto, quantitativa e qualitativa. Para melhor compreensão da metodologia aplicada algumas considerações são necessárias:

#### **3.1 Caracterização da usina**

Esta pesquisa foi desenvolvida no complexo industrial de uma usina de açúcar e álcool, localizado na região central do Estado de São Paulo. Essa usina está no mercado açucareiro há 64 anos. A capacidade de moagem é de aproximadamente 7.500.000 toneladas de cana de açúcar em uma safra, que varia de abril a dezembro de cada ano. A produção de açúcar está atualmente em torno de 11.000.000 sacas de 50 kg e 300.000 m<sup>3</sup> de álcool. Este complexo agroindustrial ocupa uma área total de aproximadamente 70.000 hectares. Para movimentar todo esse parque industrial, a usina conta com aproximadamente 7.000 funcionários, além de 900 fornecedores de cana. A usina atua nos mercados de exportação, varejo e industrial, com álcool anidro e hidratado e com vários tipos de açúcares.

Para melhor contextualizar a situação dessa usina em questão, é importante saber que a grande maioria das atuais usinas de açúcar e álcool é descendente de alambiques de álcool e foram transformadas nos últimos 100 anos em indústrias de médio e grande porte.

Com a diminuição dos subsídios para o setor, que sempre foram fartos, estas indústrias tiveram que mudar o seu perfil administrativo e a grande maioria passou a ter administração profissional e não mais administração familiar, como era nos primórdios.

Outra grande mudança ocorrida no setor foi quando se deixou de conceber as empresas como usinas, passando a ser consideradas fábricas de alimentos como muitas outras existentes no setor de alimentação. Isto trouxe para o setor uma evolução muito grande e rápida, em que o próprio cliente passou a exigir mudanças, executando auditorias e excluindo as usinas que não atendessem às suas necessidades.

Todas essas novas tendências influíram na organização da usina em questão, pois, em 2002, deixou de ter uma administração familiar ao ser adquirida por um grupo que faz a gestão de várias outras usinas e, a partir daí, houve algumas mudanças significativas na forma de administrar seus processos e produtos, com a criação de indicadores de performance nos processos em que os funcionários, além de seus salários, passaram a ser remunerados em

função do atendimento destes indicadores. Tais indicadores são voltados principalmente para a redução de desperdícios e aumento de eficiência.

### 3.2 Descrição do processo de filtração

Dentre as inúmeras etapas envolvidas nos processos das usinas, o processo de filtração em filtros de tambor rotativo foi escolhido como alvo desse estudo porque, por melhor que seja operado, apresenta uma variação de pol muito grande, sendo a torta de filtro um dos pontos elevados de perdas de açúcar. A figura 16 traz uma descrição desse processo.

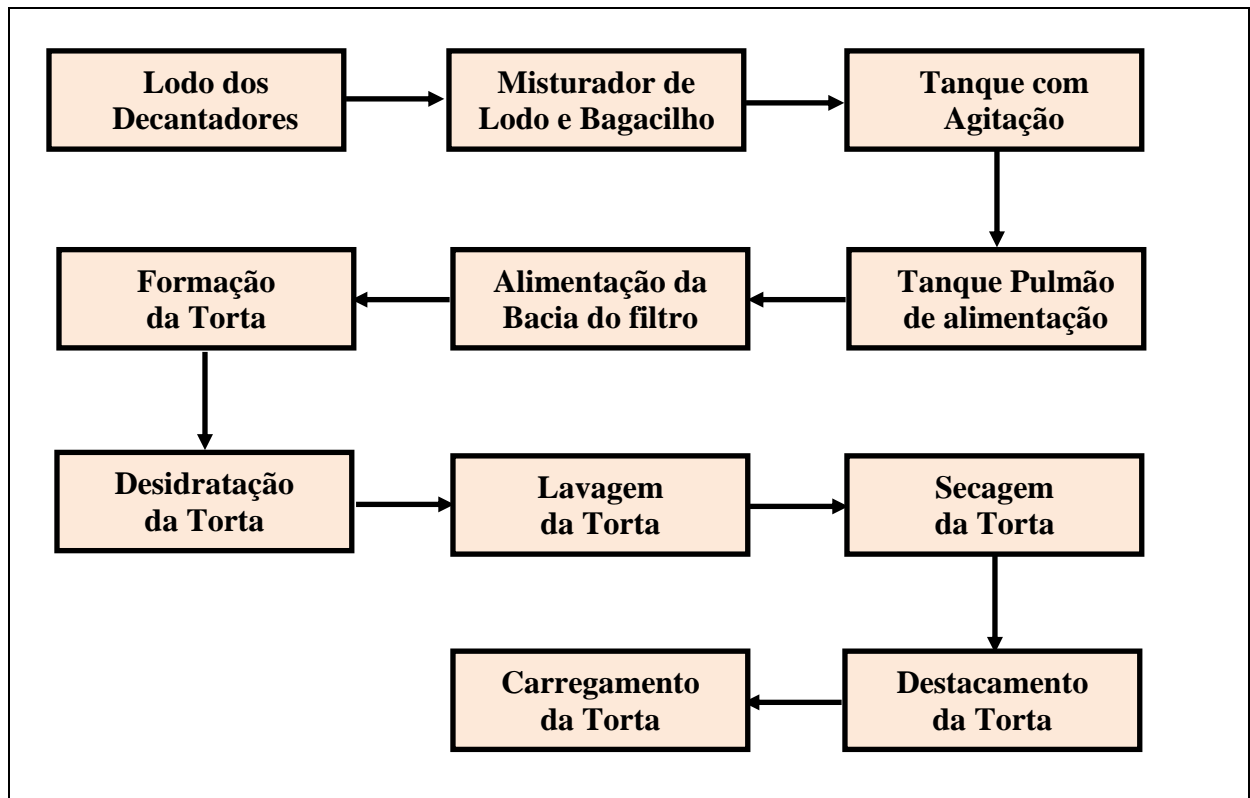


Figura 16 - Fases do processo de filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo para lodo de caldo de cana de açúcar da usina.

O processo de filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo inicia-se com a chegada do lodo de caldo de cana em um misturador horizontal, que recebe a adição simultânea de bagacilho, sendo que ao passar nos tanques com agitação, ocorre a homogeneização da solução a ser filtrada, estando o lodo preparado para a alimentação contínua da bacia do filtro.

As operações que completam o ciclo de filtração são sucessivas e contínuas. Quando o filtro gira, a seção que vai entrar na solução a ser filtrada se comunica, neste instante, com o

vácuo baixo, que varia de 7 a 10 polegadas de mercúrio, caracterizando, assim, a formação da torta. A parte líquida que foi aspirada pelo baixo vácuo, contendo sacarose, é denominada de caldo turvo, e retorna ao processo.

Com o término da formação da torta, as fibras do bagacilho começam a reter as partículas insolúveis e o líquido que passa através do meio filtrante primário é o caldo claro. À medida que o tambor gira, a espessura da torta se torna estável com a estabilização da taxa de filtração, neste instante, o tambor deve emergir na bacia de lodo. A torta formada se encontra saturada de caldo e deve ser desidratada até próximo do término da filtração de lodo do caldo contido na torta. Nesta fase do processo, os setores do filtro devem ser submetidos à pressão do alto vácuo, que varia entre 18 a 20 polegadas de mercúrio e, simultaneamente, a água de lavagem deve ser aplicada à superfície da torta. A água quente de lavagem deve passar pela torta e extrair o caldo restante, garantindo o selo de vácuo na parede do filtro, não permitindo a passagem de ar, até próximo ao ponto em que o vácuo se interrompe e a torta é destacada do tambor com o auxílio de raspadores de borracha. Nesta etapa, é extraído o caldo filtrado claro que também contém açúcar, e retorna ao processo. Verifica-se assim que à medida que o tambor está girando, os processos sucessivos de formação da torta, desidratação, lavagem, secagem e destacamento ocorrem simultaneamente.

Cada filtro possui uma esteira individual que transporta a torta destacada para uma esteira coletora principal que, por sua vez, transporta a torta proveniente dos seis filtros até uma moega que a descarrega em caminhões basculantes para transporte até a área agrícola. No final da esteira coletora principal, tem instalado um amostrador mecânico contínuo, que realiza amostragem da amostra composta (Figura 23).

No entanto, no processo de filtração tem-se o lodo de caldo de cana como matéria-prima e, após o processo de filtração, o caldo filtrado turvo e caldo filtrado claro que contêm sacarose, os quais retornam ao processo, misturando-se ao caldo misto proveniente das moendas. Já a torta é enviada para a lavoura e utilizada como adubo. A Figura 17 ilustra o fluxograma básico da estação de filtração para lodo de caldo de cana, bem como seus equipamentos periféricos.

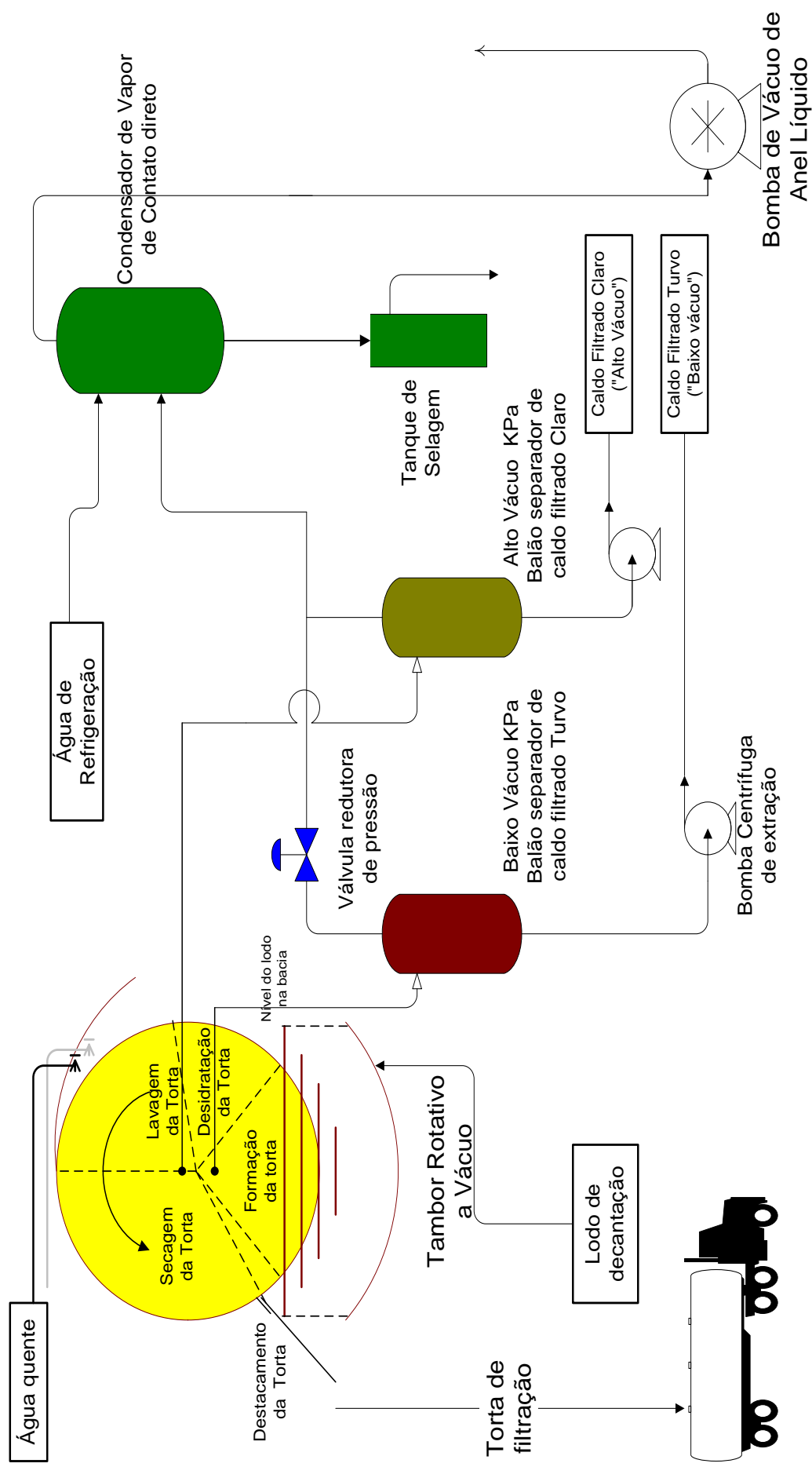


Figura 17 - Fluxograma básico da seção de filtração de lodo de caldo de cana com seus equipamentos periféricos.  
 Fonte: Polonio (2004, p. 19).

### 3.3 Definição das variáveis de qualidade do processo de filtração a vácuo

As variáveis de qualidade do processo de filtração analisadas pelo CEP foram definidas em função da revisão da literatura sobre filtração e do Brainstorming realizado com operadores do processo de filtração. Sendo estas: velocidade de rotação para os filtros (voltas por hora), pressões do alto vácuo e baixo vácuo para os filtros, pol da torta para os filtros (amostra individual), pol da torta amostra composta entre turnos de trabalho A, B e C, pol média da torta amostra composta.

Durante a safra 2008/2009 foram efetuadas coletas diárias de dados obtidos junto ao banco de dados dos setores de controle de qualidade (parâmetros analíticos) e sistema de controle automático do processo (supervisório) da unidade industrial, que visou analisar o desempenho dos seguintes filtros rotativos a vácuo:

Três filtros fabricados pela empresa Mause de dimensões: de 3960 mm de diâmetro x 7930 mm de comprimento (13'x 26') e superfície de filtração de 98,6m<sup>2</sup>. A (Figura 18) ilustra um filtro (13'x 26') Mause.



Figura 18 - Fotografia de filtro de tambor rotativo contínuo a vácuo com dimensões de 3.960 mm de diâmetro por x 7.930 mm de comprimento (13'x 26').  
Fonte: Usina (2008).

Dois filtros fabricados pela empresa Mause apresentando as dimensões: 4270 mm de diâmetro x 12.190 mm de comprimento (14'x 40') e superfície de filtração de 163,4m<sup>2</sup>. A (Figura 19) ilustra um filtro (14'x 40') Mause.



Figura 19 - Fotografia de um filtro contínuo de tambor rotativo a vácuo tamanho 4.270 mm de diâmetro por x 12.190 mm de comprimento (14'x 40') Mausa.  
Fonte: Usina (2008).

Um filtro fabricado pela empresa VLC apresentando as seguintes dimensões: 4270 mm de diâmetro x 12.190 mm de comprimento (14'x 40') com superfície de filtração de 163,4m<sup>2</sup>. A (Figura 20) ilustra um filtro (14'x 40') VLC:



Figura 20 - Fotografia de um filtro contínuo de tambor rotativo a vácuo tamanho 4.270 mm de diâmetro por x 12.190 mm de comprimento (14'x 40').  
Fonte: Usina (2008).

Visando detectar as possíveis causas de perda de açúcar no processo de filtração, foi construído o diagrama de causa e efeito (Figura 25), com o auxílio dos operadores do setor de filtração durante o Brainstorming apresentado na Figura 21.



Figura 21 - Fotografia do Brainstorming realizado com operadores do processo de filtração.  
Fonte: Usina (2008).

Para os filtros, analisaram-se as seguintes variáveis de qualidade:

- Velocidade de rotação: foram coletadas 162 amostras, pressão do baixo vácuo (177 amostras), pressão do alto vácuo (228 amostras) e pol da torta (234 amostras).

As ferramentas utilizadas foram: folha de verificação (Apêndice A), Análise de variância e método de Tukey quando necessário. As amostras foram coletadas ao longo da safra de 2008/2009. A Figura 22 ilustra o ponto e forma de amostragem da torta para os filtros:



Figura 22 - Fotografia da forma e ponto da amostragem individual da torta de cada filtro  
Fonte: Usina (2008).



Além do desempenho dos filtros, analisou-se também a performance dos turnos envolvidos na operação do processo alvo deste estudo. Tal operação é feita por três turnos. Essa avaliação foi realizada por meio da verificação da pol da torta amostra composta para turnos. Neste caso, coletaram-se dados diariamente (duas amostras por turno). As ferramentas utilizadas foram: folha de verificação, Análise de variância e método de Tukey. Foram coletadas 472 amostras por turno ao longo da safra.

- **Pol média da torta amostra composta:** essa variável é o melhor indicador para analisar o desempenho da estação de filtração e, conseqüentemente, reduzir a quantidade de açúcar perdido. Os valores ótimos que as usinas buscam obter é que a pol seja menor que 1%, porém, a maioria das usinas tem conseguido obter pol entre 1 e 3%, sendo na maioria das vezes, maior que 1,5%. Com esta análise, é possível verificar se o processo de filtração está ou não sob controle estatístico. (Pol: Percentual em massa de sacarose dissolvida em solução).

Para essa característica de qualidade, coletou-se 330 amostras, sendo 1 amostra composta a cada quatro horas, realizando análise da pol da torta no laboratório industrial e registrando no livro de controle e na folha de verificação, no final do dia tem-se 6 amostras. As amostras coletadas e analisadas da pol da torta amostra composta formam um subgrupo, de modo que, no total, 55 subgrupos foram obtidos. Os dados foram coletados diariamente no período de 07 de junho a 07 de agosto da safra de 2008/2009, por meio de folha de verificação. Essas amostras foram coletadas sempre considerando uma moagem maior que 30.000 toneladas de cana moída ao dia, pois valores menores de moagem influenciarão em valores menores de pol, uma vez que a área de filtração disponível aumenta.

As ferramentas estatísticas utilizadas foram: folha de verificação, gráfico de controle da média, amplitude e índices da capacidade de processo (Cp e Cpk). **Amostra composta** é a torta proveniente dos seis filtros que se misturam em uma única esteira, coletada através de um amostrador mecânico com amostragem a cada 25 minutos. A Figura 23 ilustra o amostrador contínuo e o ponto da amostragem composta da torta.



Figura 23 - Fotografia do amostrador e do ponto da amostragem composta da torta  
Fonte: Usina (2008).

As amostragens citadas, bem como a análise da pol das amostras individuais e compostas foram realizadas pelo laboratório da unidade industrial.

O quadro 6 mostra as características do procedimento de amostragem das variáveis de controle do processo de filtros de tambor rotativo.

Variável	Quantidade amostra (Turno)	Ponto de amostragem	Tipo de amostragem	Intervalo de amostragem
Pol da torta amostra individual dos filtros	1	Saída da esteira do filtro	Pontual	A cada 8 horas
Pol da torta amostra composta dos seis filtros e turnos	2	Final da esteira coletora principal	Composta	A cada 4 horas
Baixo vácuo	1	Vácuometro no balão do filtro	Pontual	A cada 8 horas
Alto vácuo	1	Vácuometro no balão do filtro	Pontual	A cada 8 horas
Rotação dos filtros	1	Supervisório do processo	Contínua	A cada 8 horas

Quadro 6 - Características do procedimento de amostragem

### 3.4 Avaliação das etapas de lavagem e secagem da torta

Visando verificar as principais etapas que interferem no desempenho do processo de filtração, considerando-se as especificações da engenharia, e identificar valores que modelem o desempenho do processo, avaliaram-se as etapas de lavagem e secagem da torta. O experimento foi realizado no período de 30 de setembro a 29 de outubro 2008, no filtro de tambor rotativo contínuo a vácuo, com dimensões de 4.270 mm diâmetro por x 12.190 mm de comprimento (14' x 40'), fabricado pela empresa Mause.

Este filtro possui embebição por gotejamento e um amostrador contínuo instalado no final da linha, o que possibilitou maior precisão na amostragem da torta, para as análises de umidade e pol.

As variáveis foram analisadas em função de duas situações: fixando a rotação do filtro (nº de voltas por hora) e variando a vazão água (m<sup>3</sup>/h).

A medição de pol da torta e da umidade foi realizada no laboratório industrial da usina, conforme metodologia específica.

Metodologia utilizada para avaliar as etapas de lavagem e secagem da torta.

- 1) Identificar as variáveis que seriam analisadas;
- 2) Elaborar procedimento para coleta de dados;
- 3) Elaborar uma folha de verificação para registro dos dados;
- 4) Instalar medidor de vazão tipo rotâmetro para medir a vazão de água do filtro;
- 5) Executar o experimento;
- 6) Analisar os dados.

As variáveis escolhidas para análise foram:

- 1) Vazão de água (m<sup>3</sup>/h);
- 2) Pressão do baixo vácuo (pol. de Hg);
- 3) Pressão do alto vácuo (pol. de Hg);
- 4) Espessura da torta (mm);
- 5) Pol da torta (%);
- 6) Umidade da torta (%);
- 7) Velocidade de rotação do filtro (nº de voltas por hora);

A etapa inicial de execução do experimento foi identificar os valores a serem medidos para as variáveis: vazão de água ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) e velocidade de rotação do filtro ( $\text{n}^\circ$  de voltas por hora). Foram realizadas medições preliminares e, a partir daí, estabelecidos os seguintes valores:

- a) Velocidade de rotação do filtro 10, 15, 20 e 25 (voltas por hora).
- b) Vazão de água 20, 30, 35 e 40 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

O experimento foi constituído de dezesseis etapas, sempre fixando a rotação e variando a vazão de água, ou seja, para cada velocidade de rotação, as vazões de água variaram entre 20, 30, 35 e 40  $\text{m}^3/\text{h}$ , utilizando o filtro 4.

Cada etapa do experimento teve duração de duas horas, com coleta de dados a cada 30 minutos para as variáveis: vazão de água, espessura da torta, velocidade de rotação do filtro, pol e umidade da torta, as análises de pol e umidade da torta foram realizadas no laboratório do setor industrial. Dados nos apêndices de B, C, D, E, F.

A Figura 24 ilustra o medidor de vazão utilizado para medir a vazão de água.



Figura 24 - Fotografia do medidor vazão tipo rotâmetro utilizado no experimento  
Fonte: usina (2008).

Para analisar estas etapas foram utilizadas as ferramentas: folha de verificação e Análise fatorial vazão x velocidade de rotação. O software utilizado foi o Minitab do Departamento de Engenharia de Produção.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados são apresentados em forma de tabelas e gráficos, onde se pode observar com maior clareza as tendências e comparações dos valores obtidos com os especificados.

### **4.1 Causas que contribuem para o bom funcionamento do processo de filtração e sugestões de melhoria**

No diagrama de causa e efeito (Figura 25) foram descritas as prováveis causas que interferem na perda de açúcar na torta do processo de filtração, tendo sido elaborado com base na literatura de filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo, e em conjunto com os operadores deste processo.

No processo de filtração, temos os seguintes fatores envolvidos: materiais, mão de obra, máquinas, métodos, meio ambiente e medidas.

Após a análise do diagrama de causa e efeito (Diagrama de Ishikawa), construíram-se os quadros (7 a 12) dos fatores envolvidos no processo de filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo para lodo de caldo de cana de açúcar. Com uma síntese dos problemas levantados, propostas de soluções dos mesmos e dos benefícios esperados com a aplicação das propostas sugeridas.

A Figura 25 a ilustra o diagrama de causa e efeito construído, indicando as causas que contribuem para as perdas de açúcar na torta do processo de filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo.

Apesar da qualidade da cana aparecer como um dos principais fatores na perda de açúcar na torta, não foi realizado estudo específico sobre o mesmo.

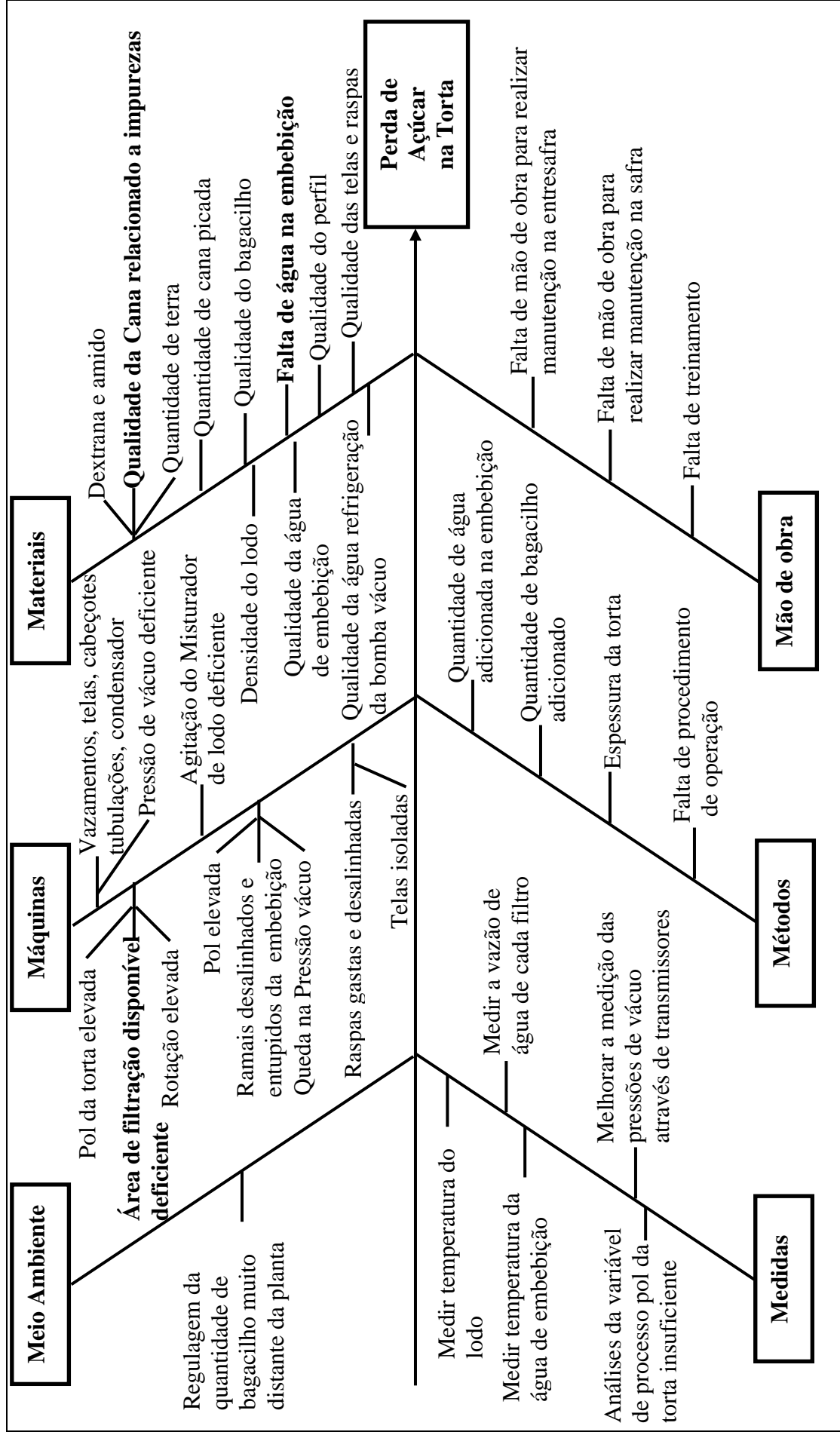


Figura 25 - Diagrama de causa e efeito para causas que contribuem para perda de açúcar na torta do processo de filtração

Nos Quadros de 7 a 12, estão as análises dos fatores envolvidos no processo de filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo.

<b>Problema</b>	<b>Sugestão</b>	<b>Benefício</b>
Qualidade da cana	Realizar trabalho de conscientização e padronização de corte e carregamento da cana.	Reduzir a quantidade de impurezas na cana e, conseqüentemente, a redução das perdas no processo como um todo.
Quantidade de cana picada	Realizar trabalho de conscientização e padronização de corte.	Reduzir a quantidade de impurezas na cana.
Densidade do lodo	Criar procedimento para evitar retirada de lodo pouco denso dos decantadores.	Evitar o envio de caldo para o lodo, reduzir a quantidade de açúcar a ser recuperada e evitar perdas.
Qualidade do bagacilho	Inspecionar telas do sistema de captação de bagacilho.	Evitar a coleta de bagacilho com fibras longas para reduzir perdas.
Falta de água na embebição	Instalar sistema automático de reposição de água.	Evitar falta de água nos filtros e conseqüentemente perdas desnecessárias.
Qualidade da água de embebição	Instalar filtros na linha para remoção de contaminantes na água.	Evitar entupimentos dos ramais e bicos da embebição dos filtros.
Qualidade do perfil	Comprar perfil somente com especificação técnica.	Evitar danos nas telas e vazamentos nos filtros.
Qualidade das telas e rasps	Comprar telas e rasps somente com especificação técnica.	Melhorar a disponibilidade da área de filtração.
Qualidade da água de refrigeração da bomba de vácuo	Instalar filtros na rede de água bruta.	Evitar falta de água na bomba, melhorando a performance da bomba e do vácuo exercido.

Quadro 7 - Análise do diagrama de causa e efeito para o fator materiais

<b>Problema</b>	<b>Sugestão</b>	<b>Benefício</b>
Falta de treinamento	Realizar treinamento com os operadores sobre os parâmetros de controle do processo de filtração.	Padronizar as operações e controles, melhorar a operação do processo e reduzir perdas.
Falta de mão de obra para realizar manutenção nos filtros na safra	Treinar os operadores do processo para realizar manutenção mais detalhada em pontos específicos dos filtros.	Evitar paradas desnecessárias e aumentar a disponibilidade do equipamento.
Falta de mão de obra para realizar manutenção nos filtros na entresafra	Treinar os operadores do processo para realizar manutenção nos filtros de forma mais criteriosa na entresafra.	Aumentar a disponibilidade dos filtros.

Quadro 8 - Análise do diagrama de causa e efeito para o fator mão de obra

<b>Problema</b>	<b>Sugestão</b>	<b>Benefício</b>
Área de filtração disponível deficiente	Aquisição de 2 filtros prensa.	Aumentar a disponibilidade da área de filtração; reduzir perdas de açúcar na torta.
Vazamentos em telas, cabeçotes e condensadores	Criar procedimento de verificação de vazamentos.	Aumentar a pressão do alto vácuo e, conseqüentemente, aumentar o desempenho do equipamento.
Agitação do misturador de lodo deficiente	Executar manutenção no agitador de lodo do misturador.	Melhorar a homogeneização da solução a ser filtrada.
Ramais da embebição desalinhados	Alinhar os ramais da embebição.	Melhorar a distribuição da água sem destruir a camada da torta; aumentar a pressão do vácuo alto e, conseqüentemente, melhorar a performance do filtro.
Raspas desalinhadas	Alinhar e substituir raspas com problemas e desalinhadas.	Evitar danificar as telas; evitar redução da área de filtração por telas isoladas; reduzir custos com compra de telas.

Quadro 9 - Análise do diagrama de causa e efeito para o fator máquinas

<b>Problema</b>	<b>Sugestão</b>	<b>Benefício</b>
Falta de procedimento de operação	Elaborar um procedimento de operação com parâmetros das variáveis a serem monitoradas e controladas.	Melhorar o desempenho do processo, reduzindo perdas.
Espessura da torta	Padronizar a espessura da torta como parâmetro de trabalho.	Melhor a performance do processo e reduzir perdas.
Quantidade de bagacilho adicionado	Elaborar procedimento para adição de bagacilho no preparo do lodo.	Reduzir quantidade de torta, perdas e consumo de bagaço.
Quantidade de água adicionada na embebição	Medir a vazão de água de forma individual para cada filtro.	Evitar adicionar quantidade de água desnecessária no processo e reduzir consumo de vapor.
Substituição de raspas danificadas	Criar procedimento para substituição das raspas danificadas.	Evitar a redução da área de filtração por as telas estarem isoladas.

Quadro 10 - Análise do diagrama de causa e efeito para o fator métodos



<b>Problema</b>	<b>Sugestão</b>	<b>Benefício</b>
Regulagem da quantidade de bagacilho muito distante da planta	Automatizar a distribuição	Corrigir a quantidade de bagacilho com maior rapidez, evitando assim falta ou excesso.

Quadro 11 - Análise do diagrama de causa e efeito para o fator meio ambiente

<b>Problema</b>	<b>Sugestão</b>	<b>Benefício</b>
Análise da variável de processo pol da torta insuficiente	Aumentar a quantidade de análise da pol da torta pelo menos duas vezes ao turno.	Melhorar o controle e ajuste do processo com base em dados reais.
Melhorar a medição das pressões de vácuo através de transmissores	Instalar transmissor para medir pressão de vácuo.	Facilitar a identificação de vazamentos no processo.
Medir temperatura da água de embebição	Instalar termômetro na linha de água.	Facilitar para o operador intervir quando esta variável estiver fora da especificação.
Medir a vazão de água de cada filtro	Instalar medidor de vazão individual para cada filtro.	Distribuir de forma adequada a quantidade de água.
Medir temperatura do lodo	Instalar termômetro no tanque de alimentação de lodo das bacias dos filtros	Facilitar para operador intervir quando esta variável estiver fora da especificação.

Quadro 12 - Análise do diagrama de causa e efeito para o fator medidas

#### 4.2 Análise do desempenho dos filtros para a variável velocidade de rotação

Para análise dos resultados, considerou-se:

- Filtro 1= filtro rotativo contínuo fabricante Mausa dimensões (13'x 26');
- Filtro 2 = filtro rotativo contínuo fabricante Mausa dimensões (13'x 26');
- Filtro 3 = filtro rotativo contínuo fabricante Mausa dimensões (13'x 26');
- Filtro 4 = filtro rotativo contínuo fabricante Mausa dimensões (14'x 40');
- Filtro 5 = filtro rotativo contínuo fabricante Mausa dimensões (14'x 40');
- Filtro 6 = filtro rotativo contínuo fabricante VLC dimensões (14'x 40').

Para analisar essa variável, foram coletadas 162 amostras por filtro ao longo da safra de 2008/2009.

A Tabela 4 mostra os valores médios da velocidade de rotação.

Tabela 4 - Dados médios da variável velocidade de rotação para os filtros

<b>Filtros</b>	<b>Velocidade média de Rotação (VPH)</b>	<b>Valor-p</b>
1	25,08 a	0.01
2	24,65 a	
3	24,68 a	
4	23,79 b	
5	24,27 ab	
6	24,27 ab	

\*As médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ ).

A velocidade média de rotação variou de 23,79 a 25,08 (voltas/hora). O filtro 4 foi o que obteve menor velocidade de rotação e o filtro 1, a maior. O filtro 4 é diferente em termos de velocidade de rotação em relação aos filtros 1, 2 e 3.

Conforme revisão da literatura sobre os filtros, para que se tenha uma pol menor que 1%, a velocidade de rotação deve estar entre 10 a 15 (voltas por hora). Velocidade de rotação elevada como 24 (voltas/hora) é indicativo de falta de superfície de filtração disponível, ou seja, falta de filtro. Desta forma, os filtros analisados possuem rotações maiores que o recomendado na literatura, para obtenção de pol menor que 1%.

#### 4.2.1 Análise do desempenho dos filtros para a variável pressão do baixo vácuo

A tabela 5 mostra os valores médios da pressão do baixo vácuo.

Utilizou-se 177 amostras por filtro ao longo da safra de 08/09.

Tabela 5 - Dados médios da variável pressão do baixo vácuo para os filtros

<b>Filtros</b>	<b>Pressão média do baixo vácuo (Pol. de Hg)</b>	<b>Valor-p</b>
1	7,33 a	0.01
2	6,94 b	
3	7,49 a	
4	7,45 a	
5	7,55 a	
6	7,44 a	

\*As médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ ).

A pressão média do baixo vácuo variou de 6,94 a 7,55 (Pol. de Hg). O filtro 2 foi o que obteve menor pressão, abaixo do limite de especificação e o filtro 5, a maior. O filtro 2 é diferente em relação aos filtros 1, 3, 4, 5 e 6.

Conforme literatura sobre os filtros, para que se tenha uma boa formação da torta, deve-se ter pressão do baixo vácuo entre 7 a 10 (Pol. de Hg). Pressão fora desses limites podem influenciar no desempenho dos filtros. Portanto, dos filtros analisados para a pressão do baixo vácuo, só o filtro 2 está fora do limite mínimo de especificação.

#### 4.2.2 Avaliação do desempenho dos filtros para a variável pressão do alto vácuo

Para analisar essa variável, foram coletadas 228 amostras por filtro ao longo da safra de 2008/2009. A Tabela 6 mostra os valores médios da pressão do alto vácuo.

Tabela 6 - Dados médios da variável pressão do alto vácuo para os filtros

<b>Filtros</b>	<b>Pressão média do alto vácuo (Pol. de Hg)</b>	<b>Valor-p</b>
1	15,29 c	0.01
2	14,58 d	
3	15,86 b	
4	15,93 b	
5	15,57 c	
6	17,36 a	

\*As médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ ).

A pressão média do alto vácuo variou de 14,58 a 17,36 (Pol. de Hg). O filtro 2 foi o que obteve menor pressão e o filtro 6, a maior. Os filtros 2 e 6 são diferentes em relação aos filtros 1, 3, 4 e 5.

Conforme literatura sobre os filtros, para que se tenha uma boa extração do açúcar contido na torta e secagem da mesma, a pressão do alto vácuo deve estar entre os limites de 18 a 20 (Pol. de Hg). Pressão fora desses limites pode influenciar no desempenho dos filtros. Portanto, observa-se que todos os filtros possuem a pressão do alto vácuo abaixo dos limites de especificação.

### 4.2.3 Avaliação do desempenho dos filtros para a variável pol da torta amostra individual

Para analisar essa variável, foram coletadas 234 amostras por filtro ao longo da safra de 2008/2009. A Tabela 7 mostra os valores médios da pol da torta.

Tabela 7 - Dados médios da variável pol da torta para os filtros

Filtros	Pol média da torta (%)	Valor-p
1	2,36 c	0.01
2	2,80 d	
3	2,02 ab	
4	2,21 bc	
5	2,00 ab	
6	1,93 a	

\*As médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ ).

A pol da torta dos filtros variou de 1,93 a 2,80(%). O filtro 6 foi o que obteve menor pol e o filtro 2, a maior. O filtro 2 é diferente em relação aos filtros 1, 3, 4, 5 e 6 e o filtro 6 é diferente em relação aos filtros 1, 2, e 4.

De acordo com a literatura sobre os filtros, a melhor variável para medir o desempenho da estação de filtração é a pol da torta, sendo que os valores ótimos devem ser menores que 1%. Observa-se na tabela 7 que o filtro 2 é o que tem o pior desempenho e o filtro 6, o melhor e que todos os filtros possuem valores elevados. Esses valores elevados de pol são em função de rotações elevadas conforme valores obtidos na Tabela 4, que pode ser ocasionado por falta de superfície de filtração. Verifica-se, nas análises realizadas, que o filtro 2 obteve menor pressão do baixo vácuo, menor pressão do alto vácuo e maior pol, conforme tabelas 6 e 7. Esses valores podem ser indicativos de que existem problemas na estação de geração de vácuo desse filtro, o que está ocasionando baixo desempenho.

### 4.3 Avaliação do desempenho entre os turnos para a variável pol média da torta amostra composta

Para analisar essa variável foram coletadas amostras ao longo da safra 2008/2009, somando um total de 472 observações.

A Tabela 8 mostra os valores médios da pol da torta amostra composta.

Tabela 8 - Dados médios da variável pol da torta amostra composta para os turnos

<b>Turnos</b>	<b>Pol média da torta (%)</b>	<b>Valor-p</b>
A	2,31 a	0,07
B	2,41 a	
C	2,31 a	

\*As médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ ).

A pol da torta entre os turnos variou de 2,31 a 2,41%, apesar do turno B ter obtido a pol mais elevada em relação aos turnos A e C, verifica-se que as médias de pol da torta entre os turnos não são estatisticamente diferentes. Nota-se também que a operação da estação de filtração não está influenciando para elevar a perda nesse processo.

### 4.4 Avaliação da variabilidade do processo de filtração para a variável pol média da torta amostra composta

Para essa característica de qualidade, foram coletadas 330 amostras, sendo seis amostras ao dia. As seis amostras coletadas no dia formam um subgrupo, de modo que, no total, 55 subgrupos foram obtidos. A Figura 26 ilustra o gráfico da média da pol da torta amostra composta do processo de filtração e a Figura 27, o gráfico da dispersão.

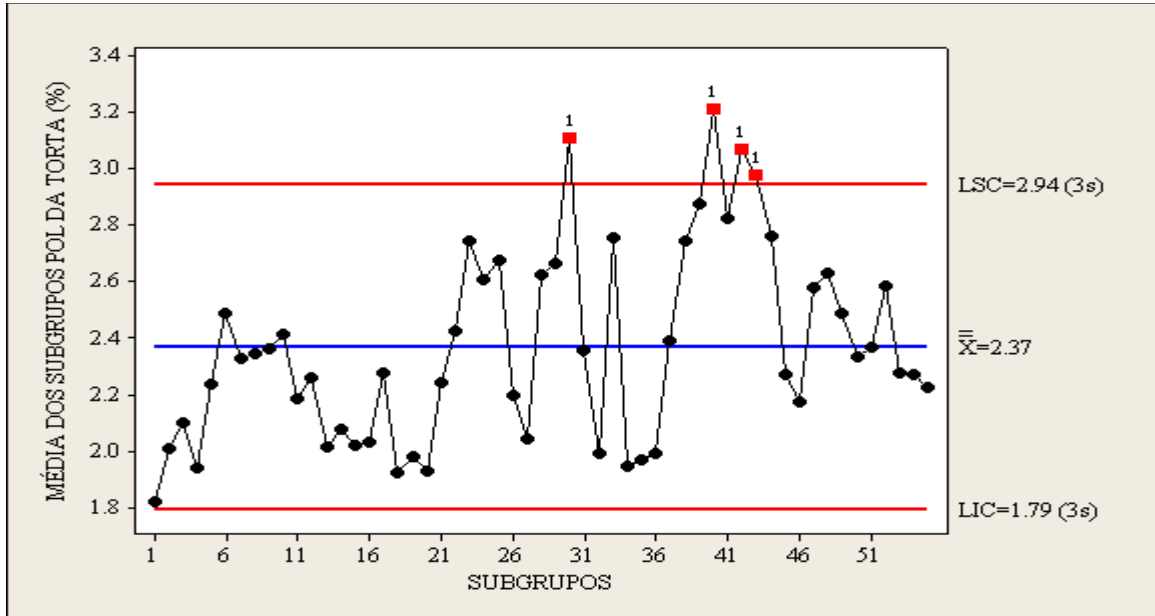


Figura 26: Gráfico da média ( $\bar{X}$ ) da variável pol da torta (%) amostra composta.

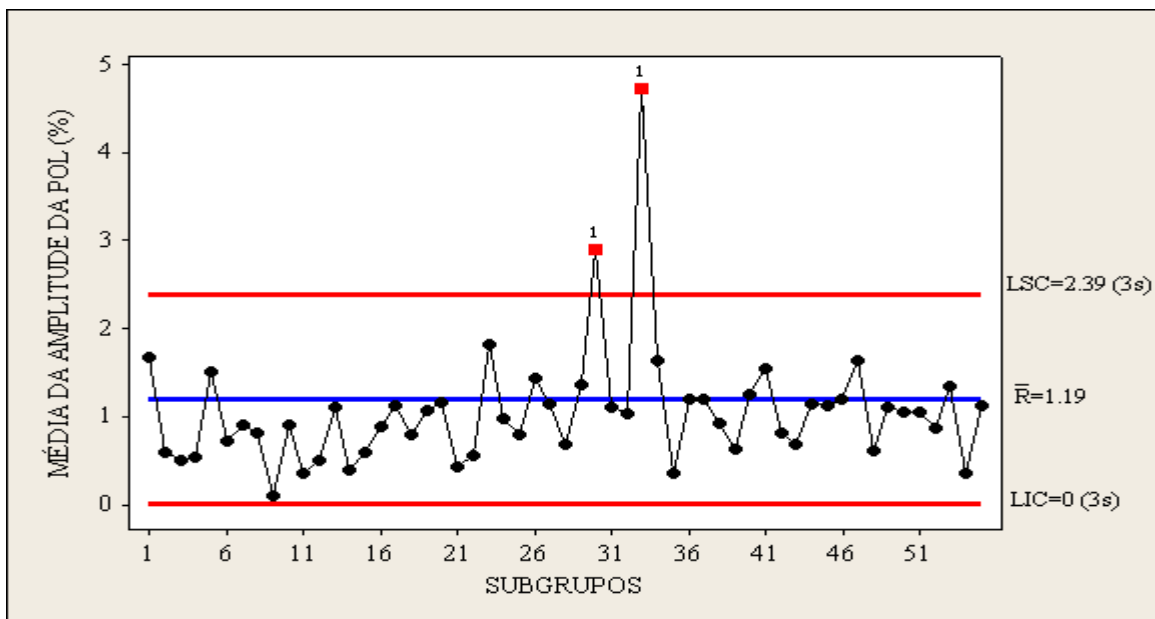


Figura 27: Gráfico da amplitude (R) da variável pol da torta (%) amostra composta.

Com o monitoramento da média do processo (Figura 26), observou-se que existem 11 pontos (subgrupos 11 a 21) que estão situados abaixo do limite médio, assinalando a presença de causas especiais. Analisando estes pontos, verificou-se uma estabilidade da moagem entre os subgrupos 11 a 17, e nos subgrupos 18 a 21, uma moagem menor, o que permitiu obtenção de valores de pol menores.

Existem vários pontos como os subgrupos 30, 40, 42 e 43 que estão situados acima do limite superior de controle, também assinalando a presença de causas especiais. Procurou-

se identificar as causas do problema e verificou-se que no subgrupo 30 faltou água na embebição dos filtros, ocasionando pol elevada. No subgrupo 40 verificou-se a parada de um filtro para manutenção e baixa eficiência do filtro 2 que teve pol elevada, aumentando assim a média. No subgrupo 42 verificou-se baixo desempenho dos filtros 1, 2 e 5. No subgrupo 43 verificou-se a parada de um filtro por um período de 16 horas para manutenção, e baixo desempenho dos filtros 1 e 3.

No monitoramento da variabilidade do processo (Figura 27), verificaram-se dois pontos discrepantes, os subgrupos 30 e 33, que estão situados acima do limite superior de controle, indicando a presença de causas especiais; observa-se também que os subgrupos de 6 a 22 estão localizados abaixo da média, também assinalando a presença de causas especiais. Após analisar os pontos que estavam fora de especificação, verificou-se que no subgrupo 30 faltou água na embebição dos filtros em um período do dia. No subgrupo 33, o processo trabalhou com dois filtros parados para manutenção no período da manhã, gerando uma pol elevada. Nos subgrupos de 6 a 22 notou-se uma estabilidade da moagem, ocasionando uma variabilidade menor. Após identificar as causas que geraram os pontos fora dos limites de controle, buscou-se eliminá-los, fazendo a revisão dos gráficos da média (Figura 28) e amplitude (Figura 29), visando identificar os limites de controles para este processo sem a presença de causas especiais.

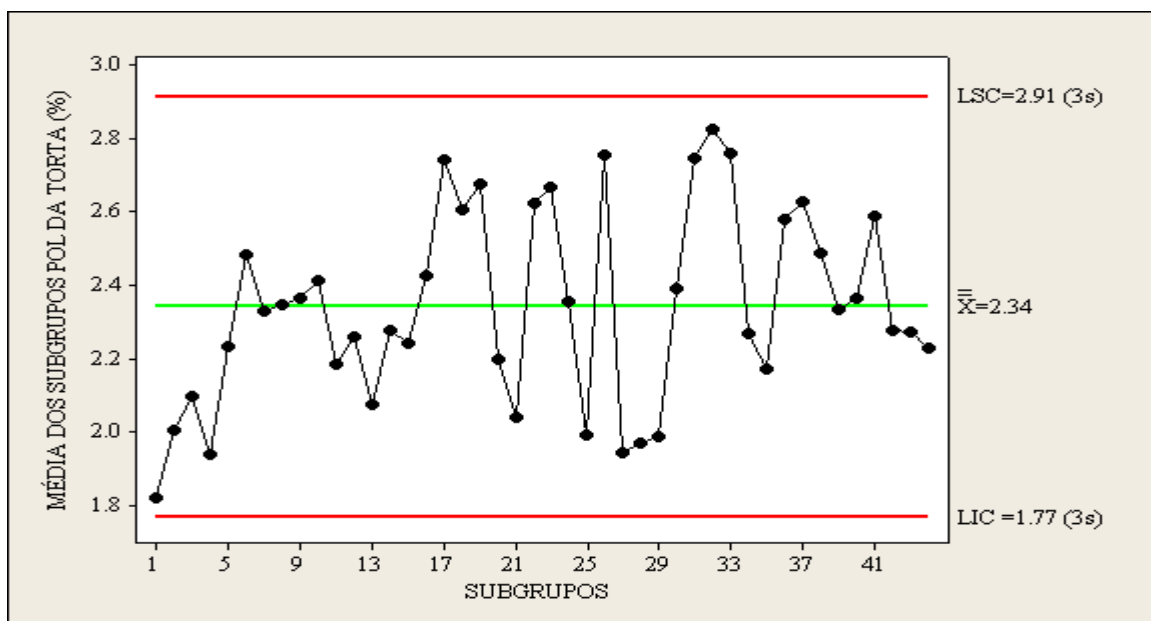


Figura 28: Gráfico da média ( $\bar{X}$ ) revisado da variável pol da torta (%) amostra composta.

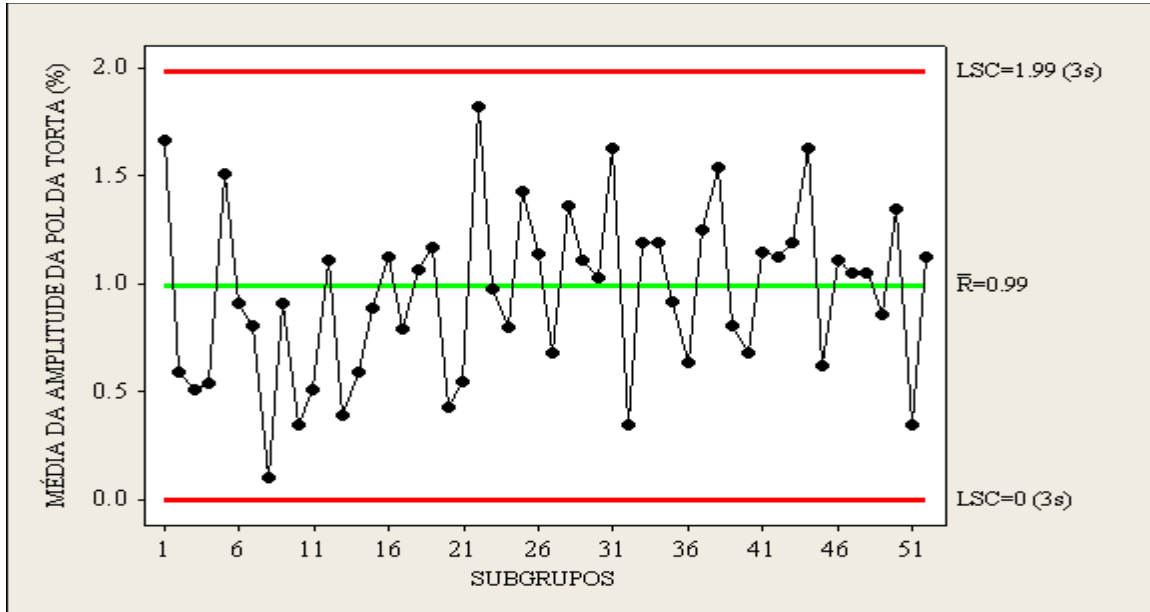


Figura 29: Gráfico da amplitude (R) revisado da variável pol da torta (%) amostra composta.

O gráfico revisado da média ( $\bar{X}$ ) da variável pol da torta amostra composta (Figura 28) não apresentou pontos fora dos limites de controle. O limite inferior de controle deste processo é pol de 1,77 %, a média do processo é pol de 2,34% e o limite superior de controle é pol de 2,91 %, valores estes muitos elevados para atingir o objetivo da empresa, que é ter uma pol média de 1,35%. Para atingir a meta, será necessário reduzir as causas comuns de variação, visando reduzir as perdas nesse processo.

Verifica-se no gráfico da amplitude R (Figura 29), que não há ponto algum acima do limite superior de controle e nem ponto abaixo do limite inferior de controle.

#### 4.4.1 Análise da capacidade do processo de filtração

A partir do estudo do gráfico de controle da média, e realizada a eliminação dos pontos que representavam as causas especiais, iniciou-se a interpretação da capacidade do processo para a variável pol média da torta amostra composta.

A capacidade do processo para a variável pol média da torta amostra composta foi analisada utilizando-se os 44 subgrupos resultantes da revisão do gráfico de controle da média, sendo o limite inferior de especificação (LIE) igual a uma pol de 0,50% e o limite superior de especificação 1,80%, valores estes estabelecidos pela empresa para conseguir atingir a meta, que é ter uma pol média de 1,35% ao final da safra. A Figura 30 ilustra a capacidade do processo para a variável pol da torta amostra composta.



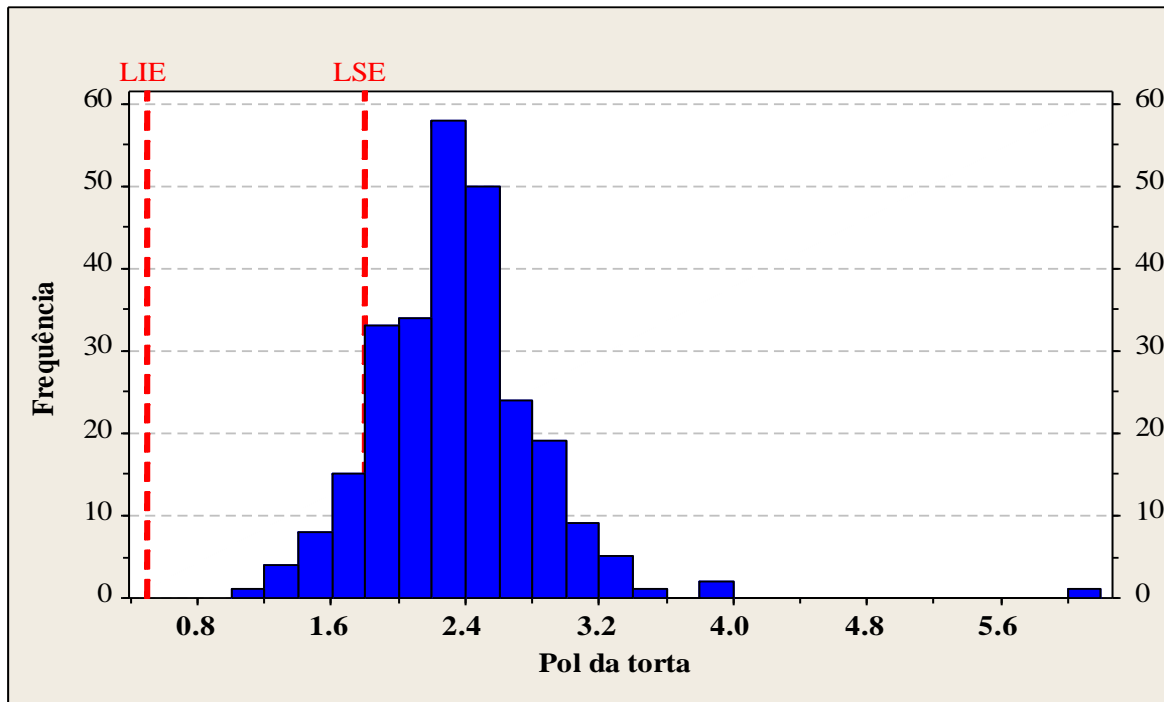


Figura 30: Análise da capacidade do processo da variável pol da torta amostra composta.

Observa-se na Figura 30 que o processo não é capaz de atender aos limites de especificações. O processo está deslocado para a direita. Para tornar o processo capaz, será necessário reduzir as causas comuns de variabilidade incidentes sobre o processo. A média da pol da torta de 2,34 % está deslocada acima do limite superior de especificação, que é de 1,80%. O valor de Cpk obtido de -0,38 mostra que a média do processo está fora do limite superior de especificação.

Resultados dos índices de capacidade e desempenho.

$$\bar{X} = 2,34\%$$

$$s = 0,47\%$$

$$LIE = 0,50 \%$$

$$LSE = 1,80 \%$$

$$Cp = 0,46$$

$$Cpk = -0,38$$

#### 4.5 Análise da quantidade de açúcar perdido na torta no processo de filtração

Para calcular a quantidade de açúcar perdido na torta, é necessário considerar as seguintes variáveis:

- 1) Quantidade de cana processada (ton.);

- 2) Quantidade de açúcar na cana, expressa em % ART, obtido através de análise no laboratório de pagamento de cana da área industrial;
- 3) Quantidade de açúcar processado, expressa em ART entrado total (ton.);
- 4) Pol média da torta, obtida através de análise diária no laboratório industrial da usina;
- 5) Quantidade de torta produzida (ton.), sendo necessário pesar toda a torta que sai da usina com destino à área agrícola;
- 6) ART perdido na torta: é a quantidade de açúcar perdido no processo de filtração;
- 7) % ART perdido na torta: é o percentual de açúcar perdido em relação à quantidade de açúcar processado na usina;
- 8) 0,95 = fator de conversão de pol para ART;
- 9) 1,1 = fator que corresponde ao ART da torta.

São utilizados os seguintes cálculos:

$$\text{ART entrado total} = (\text{Cana moída total} * \text{ART da cana}) / 100 = \\ (7.378.408,08 * 15,1141) / 100 = \mathbf{1.115.257,96 \text{ ton.}}$$

$$\text{ART perdido na torta} = (\text{Quantidade de torta produzida} * \text{Pol média da torta} / 100) \\ / (0,95) * 1,1 = (290.550,61 * 2,34 / 100) / 0,95 * 1,1 = \mathbf{7872,39 \text{ toneladas}}$$

$$\% \text{ ART perdido na torta} = (\text{ART perdido na torta} / \text{ART entrado total}) * 100 = \\ (7872,39 / 1.115.257,96) * 100 = \mathbf{0,71\%}.$$

A tabela mostra os dados da safra 2008/2009 e valores finais obtidos.

Tabela 9 - Dados da safra 2008/2009

Parâmetros	Valores
Total de cana processada	7.378.408,08 ton.
ART da Cana	15,1141%
Quantidade de ART processado	1.115.257,96 ton.
Pol média da torta	2,34 %
Quantidade de torta produzida	290.550,61 ton.
Quantidade de ART perdido na torta	7.872,39 ton.
% ART perdido na torta	0,71%

Fonte: Usina (2008)

A tabela 9 mostra que perdeu-se no processo de filtração na safra 2008/2009, 7872,39 toneladas de açúcar, que correspondem a 157.442 sacas de 50 kg, ou seja, aproximadamente 315 carretas transportando 500 sacas de açúcar de 50 kg.

#### 4.6 Análise das etapas de lavagem e secagem da torta de filtro

A tabela 10 mostra os valores médios das variáveis obtidas no experimento realizado com o filtro 4 (14'x 40') da análise fatorial, considerando-se rotação x vazão, realizado no Minitab. A análise foi empreendida levando-se em conta a velocidade de rotação do filtro e a vazão de água, com o objetivo de se verificar a influência desses dois fatores sobre as variáveis de qualidade como: pressão do baixo vácuo, pressão do alto vácuo, espessura da torta, umidade da torta e pol da torta.

Tabela 10: Comparação entre as vazões de água dentro de cada rotação e entre as médias das rotações

	<b>Rotação do filtro (VPH)</b>	<b>Vazão de água (m³/h)</b>	<b>Baixo vácuo (Pol. de Hg)</b>	<b>Alto vácuo (Pol. de Hg)</b>	<b>Espessura da torta (mm)</b>	<b>Pol da torta (%)</b>	<b>Umidade da torta (%)</b>
<b>Especificação</b>	<b>10 a 25</b>	<b>15 a 26</b>	<b>7 a 10</b>	<b>18 a 20</b>	<b>7 a 10</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>70 a 80</b>
	<b>25</b>	40	8.00 a	18.10 b	5.00 b	2.23 c	71.20 a
		35	8.13 a	18.35 ab	5.00 ab	2.00 d	70.40 b
		30	8.00 a	18.20 ab	6.00 a	2.91 b	71.40 a
		20	8.00 a	18.65 a	6.00 a	3.37 a	70.40 b
<b>Média</b>			<b>8.03 B</b>	<b>18.33 A</b>	<b>5.63 B</b>	<b>2.63 A</b>	<b>70.85 A</b>
	<b>20</b>	40	8.50 a	17.90 ab	6.00 a	1.70 c	71.20 b
		35	8.00 b	17.30 b	5.75 a	1.40 d	70.20 c
		30	8.00 b	16.90 b	5.00 a	2.45 a	70.20 c
		20	8.13 b	18.65 a	5.75 a	2.02 b	72.00 a
<b>Média</b>			<b>8.16 B</b>	<b>17.69 B</b>	<b>5.63 B</b>	<b>1.89 AB</b>	<b>70.90 A</b>
	<b>15</b>	40	7.75 a	14.50 a	4.75 a	1.12 b	70.20 b
		35	8.00 a	15.70 a	5.00 a	0.90 c	72.00 a
		30	8.00 a	15.60 a	5.00 a	2.02 a	68.40 c
		20	8.00 a	15.90 a	5.00 a	1.96 a	67.40 d
<b>Média</b>			<b>7.94 B</b>	<b>15.43 C</b>	<b>4.94 C</b>	<b>1.50 B</b>	<b>69.50 A</b>
	<b>10</b>	40	8.50 a	14.55 c	4.5 b	1.28 b	70.20 c
		35	8.50 a	16.00 b	7.00 a	1.70 a	71.40 b
		30	8.25 a	16.25 b	7.00 a	1.27 b	72.40 a
		20	8.50 a	17.85 a	7.75 a	1.75 a	72.20 a
<b>Média</b>			<b>8.44 B</b>	<b>16.16 D</b>	<b>6.56 A</b>	<b>1.50 B</b>	<b>71.55 A</b>

\*Letras minúsculas comparam médias das vazões dentro de cada rotação. Letras maiúsculas comparam médias entre as rotações. Letras distintas representam médias com diferença significativa a 5% no teste de Tukey.

O efeito das rotações na pressão de baixo vácuo não foi significativo, já para a vazão de água, ocorreram diferenças somente na velocidade de rotação de 20 vph. Apesar de existirem diferenças, todos os valores obtidos estão dentro dos limites de especificação.

Para o alto vácuo notaram-se diferenças significativas entre as médias das rotações, estando às maiores pressões na velocidade de 25 vph e a menor em 15 vph, somente os valores obtidos em 25 vph estão dentro dos limites de especificação. Para as médias da vazão de água, somente para os valores obtidos dentro da velocidade de 20 vph não existem diferenças, sendo que os valores obtidos dentro de 25 vph e 20 vph, associados a uma vazão de água de 20m<sup>3</sup>/h, estão na especificação. As menores pressões estão entre as velocidades de rotação de 10 e 15 vph, associadas a uma vazão de água de 40m<sup>3</sup>/h; verificaram-se também uma menor espessura da torta e uma menor pol.

Foram identificadas diferenças entre a espessura da torta nas médias de velocidade de rotação, sendo que a maior espessura está em 10 vph e a menor em 15 vph; todos os valores obtidos estão fora de especificação. Para as médias de espessura dentro da vazão de água, só não existiu diferença na velocidade de 15 vph e somente a média que está dentro da velocidade de 10 vph, associada às vazões de água de 20, 30 e 35, está dentro dos limites de especificação. Espessuras menores obtiveram melhores resultados em termos de umidade e pol, porém menor pressão de vácuo. As maiores espessuras apresentaram umidade maior.

Para a umidade da torta, o efeito da rotação não apresentou diferenças significativas, já para a umidade da torta dentro das vazões de água, apresentaram-se diferenças em todas as rotações. As maiores umidades estão dentro da velocidade de rotação de 10 vph e os menores, em 15 vph.

Para a pol da torta, a velocidade de rotação mostrou diferenças significativas, sendo que as médias obtidas nas velocidades de 10 e 15 vph foram iguais. Observa-se que, à medida que aumenta a rotação do filtro, a pol da torta aumenta significativamente, estando os maiores valores nas velocidades de 20 e 25 vph. As médias obtidas dentro da vazão de água apresentaram diferenças substanciais, verificando-se que o menor valor de pol é de 0,90% e está dentro da velocidade de 15 vph, com uma vazão de água de 35m<sup>3</sup>/h, e o maior é de 3,37% em 25 vph, com vazão de 20m<sup>3</sup>/h. Nota-se também que dentro das rotações de 15, 20 e 25 vph, os menores valores de pol conseguidos estão associados a uma vazão de água de 35m<sup>3</sup>/h.

Portanto, nas velocidades de rotação entre 20 e 25 vph as pressões do alto vácuo foram maiores, isto ocorreu em função de maior selagem do filtro com velocidades maiores, porém as perdas de açúcar são maiores com estas rotações.

A vazão de água mais eficiente foi de 35m<sup>3</sup>/h para as velocidades de rotação de 15, 20 e 25 vph do filtro (14'x 40'), diferente do especificado (15 a 25m<sup>3</sup>/h).

Observou-se que a espessura da torta influencia na pressão de vácuo, umidade da torta e perda de açúcar. Espessuras menores que o especificado obteve valores de umidade e pol menores, porém reduz a pressão de vácuo.

Nas velocidades de rotação entre 10 a 15 vph foram obtidas as médias da pol da torta menores, ou seja, com velocidades menores o processo se torna mais eficiente em termos de redução de pol, porém, ocorre redução na capacidade de remoção de lodo do processo, havendo necessidade de aumentar a área de filtração.

Nas figuras de 31 a 37, é possível observar graficamente o desempenho das velocidades de rotação dos filtros, com as vazões de água em função das variáveis estudadas como: pressão do baixo vácuo e do alto vácuo, espessura da torta, umidade da torta e pol da torta.

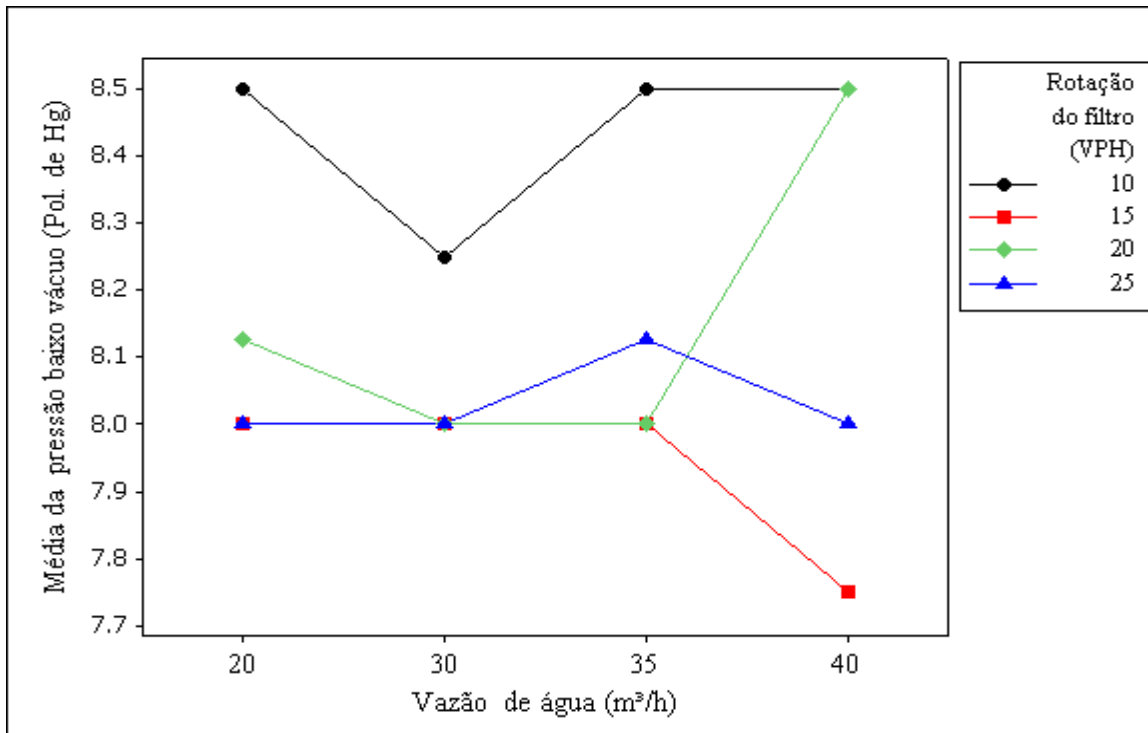


Figura 31 – Desempenho da pressão do baixo vácuo em função da rotação x vazão de água

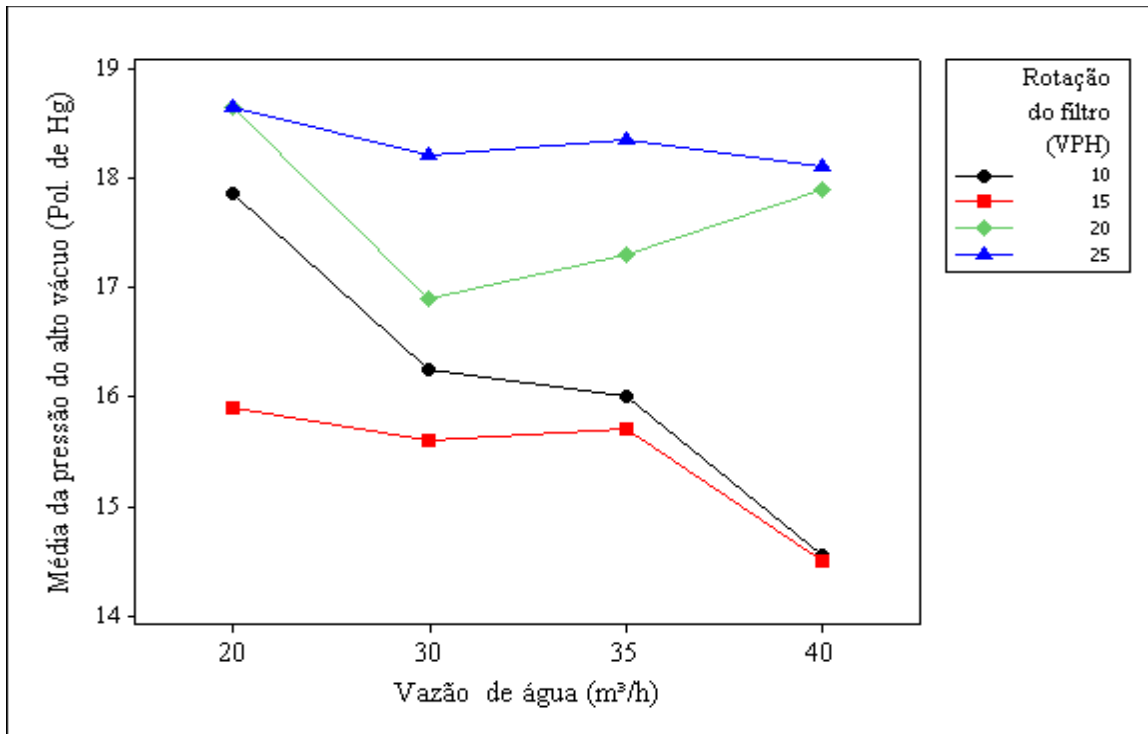


Figura 32 – Desempenho da pressão do alto vácuo em função rotação x vazão de água

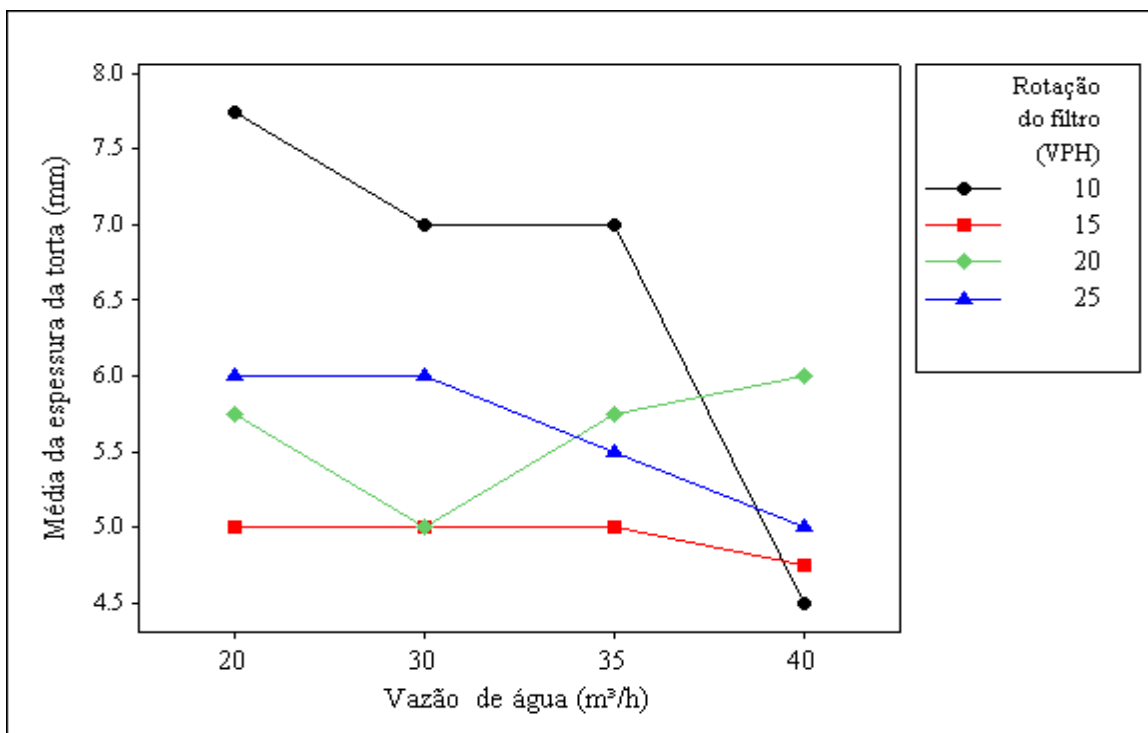


Figura 33 – Desempenho da espessura da torta em função da rotação x vazão de água

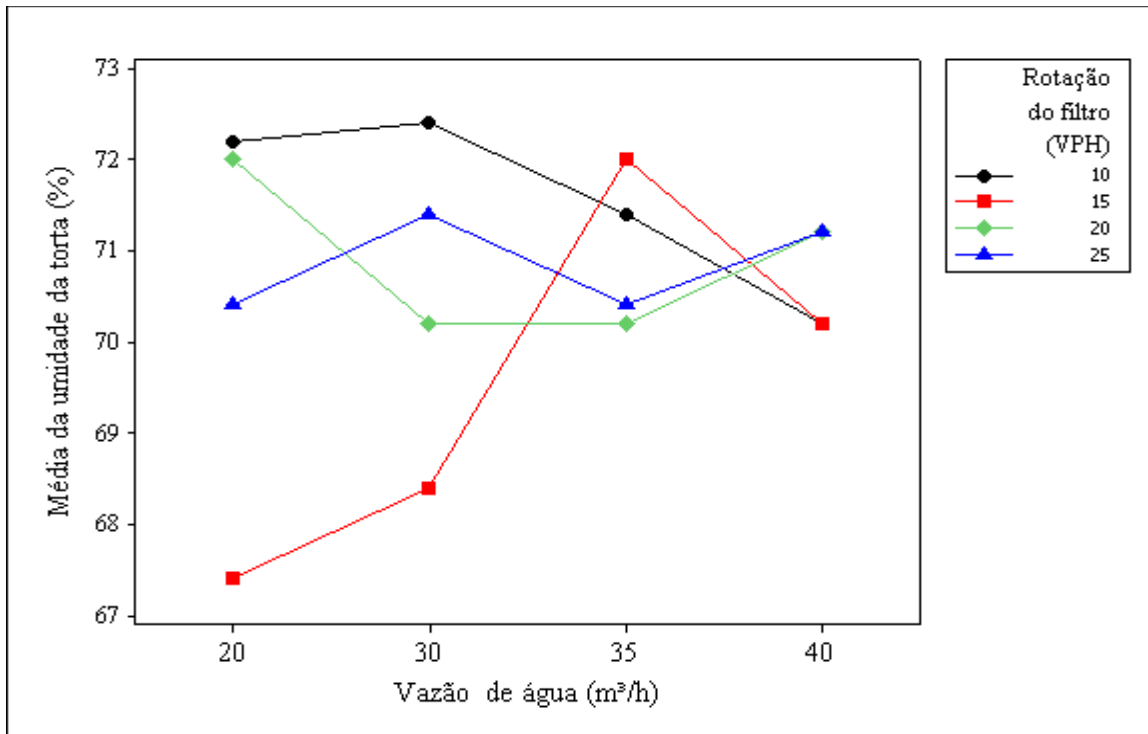


Figura 34 – Desempenho da umidade da torta em função da rotação x vazão de água

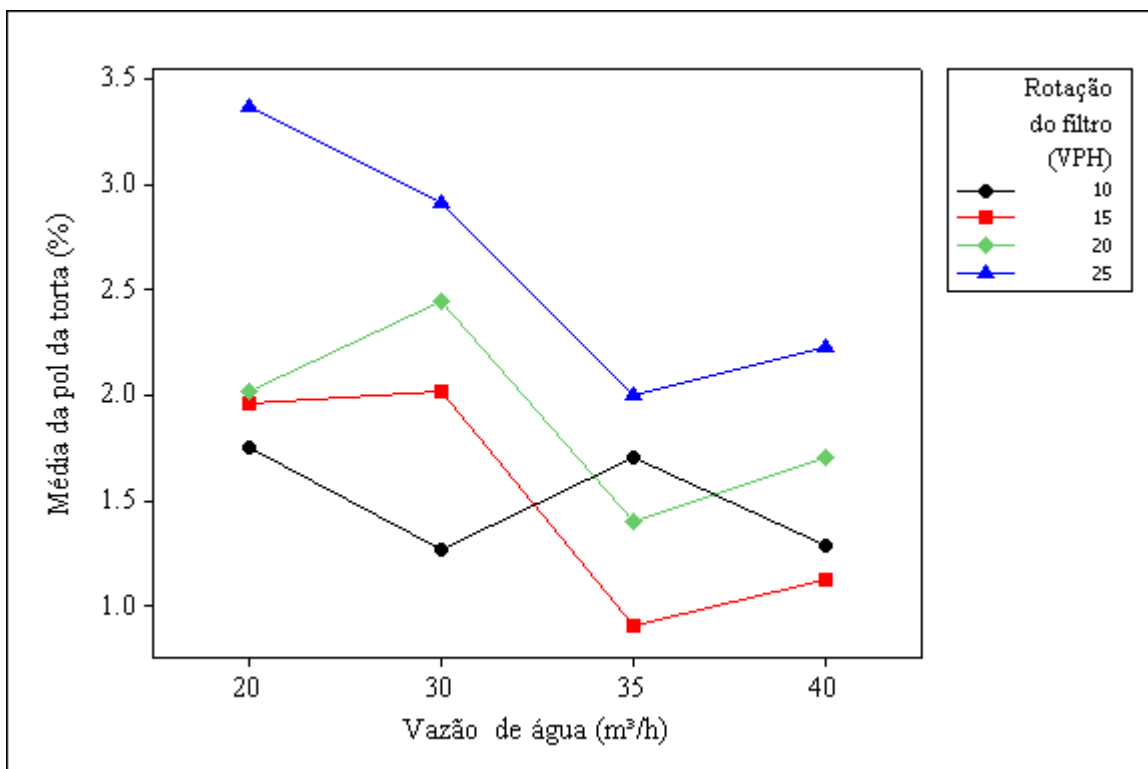


Figura 35 – Desempenho da pol da torta em função das vazões de água x rotação

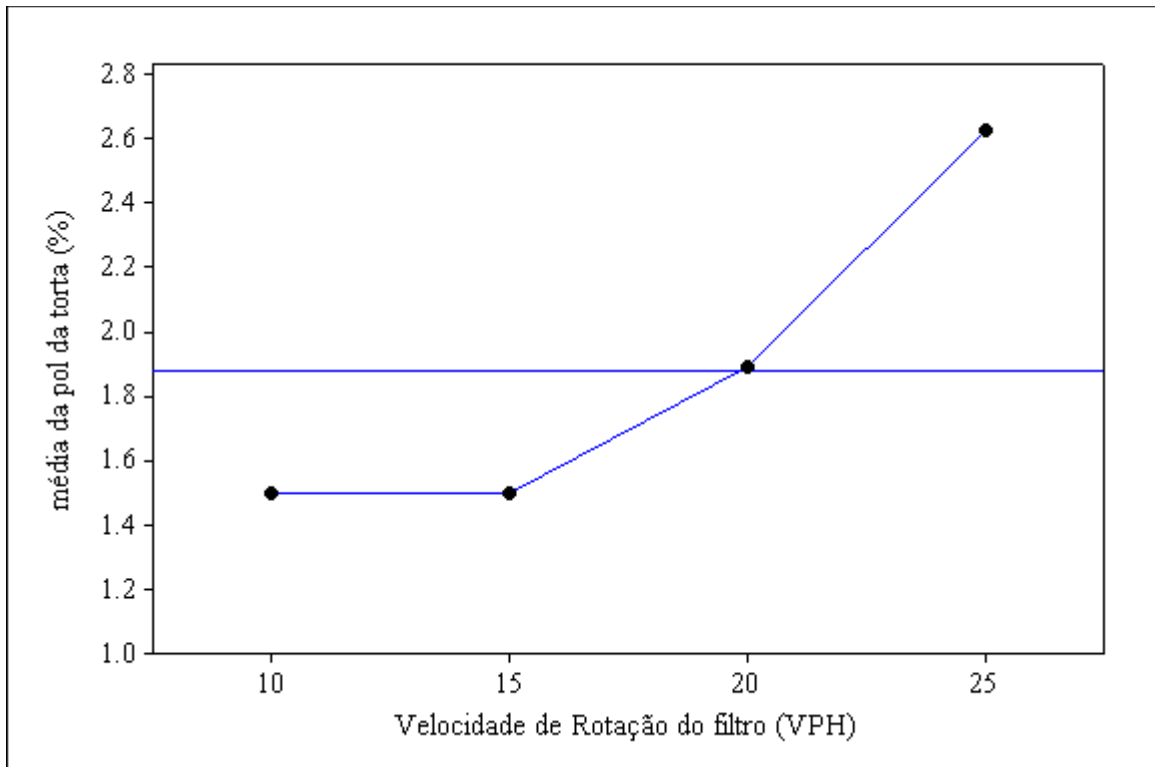


Figura 36 – Desempenho da pol da torta em função da velocidade de rotação.

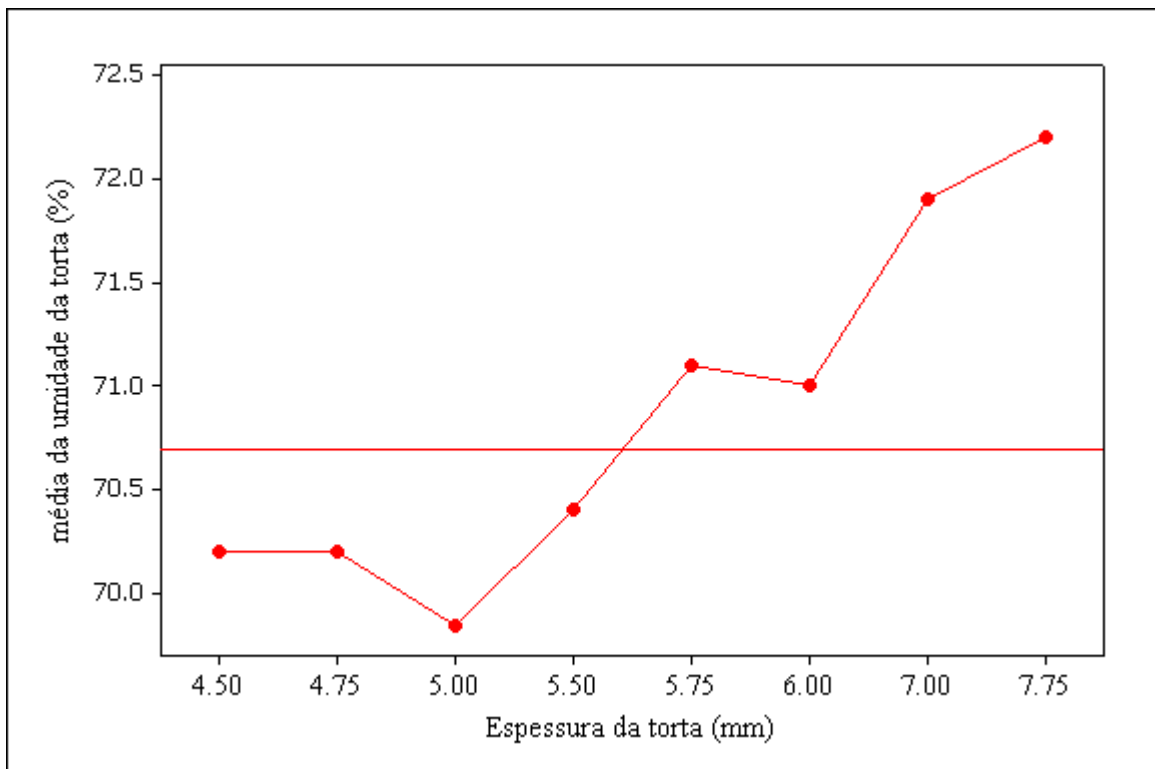


Figura 37 – Desempenho da umidade da torta em função da espessura.



## 5 CONCLUSÕES

Com a análise e interpretação do diagrama de causa e efeito, foram levantadas as causas que afetam o bom funcionamento do processo de filtração, destacando-se entre elas: área de filtração deficiente, qualidade da cana em relação a quantidade de impurezas, paradas do filtro para manutenção e falta de água na embebição.

Comparou-se o desempenho médio dos seis filtros, sendo observado que: as médias da pressão do baixo vácuo para os filtros 1, 3, 4, 5 e 6 estão dentro da especificação e a do filtro 2 está fora. As médias da pressão do alto vácuo estão todas fora dos limites, sendo que as velocidades de rotação e a pol da torta estão elevadas para todos os filtros. O filtro 2 apresentou baixa eficiência nas pressões do baixo e alto vácuo e na pol da torta.

Para o desempenho entre os turnos de trabalho, verificou-se que não existem diferenças significativas na forma de operar o processo.

Analisou-se a variabilidade do processo de filtração, utilizando o gráfico de controle da média e da amplitude, e constatou-se, durante a investigação, a presença de causas especiais.

Avaliou-se a capacidade do processo apenas para a variável pol média da torta amostra composta e a análise mostrou que o processo de filtração da usina não tem capacidade de atender às especificações propostas pela empresa para atingir a meta estabelecida.

Pode-se ressaltar que no processo de filtração na safra de 2008/2009 foram perdidas 7.872,39 ton. de açúcar, que correspondem a 0,71% do total processado, valores estes elevados, pois a maioria das usinas tem buscado atingir perdas neste processo na ordem de 0,30%.

Avaliaram-se as etapas de lavagem e secagem da torta, analisando as principais variáveis que interferem no desempenho do processo de filtração, em comparação com os valores de engenharia. O resultado mostrou que para se obter valores de pol menores que 1,5%, as rotações dos filtros (14'x 40') devem estar entre 10 e 15 vph, associadas a uma vazão de água de 35 m<sup>3</sup>/h.

A espessura da torta influencia na pressão do alto vácuo, umidade da torta e perda de açúcar. Espessuras menores que o especificado obteve valores de umidade e pol menores, porém reduz à pressão do alto vácuo, as espessuras mais eficientes em termos de redução de pol e umidade ficaram entre (4,50 a 5,75 mm), diferente do especificado (7 a 10mm).

As velocidades de rotação entre 20 e 25 vph as pressões do alto vácuo obtidas foram maiores, isto ocorreu em função de maior selagem do filtro com velocidades altas, porém as perdas de açúcar são mais elevadas.

A vazão de água mais eficiente foi de 35m<sup>3</sup>/h para as velocidades de rotação de 15, 20 e 25 vph do filtro (14'x 40'), diferente do especificado (15 a 25m<sup>3</sup>/h).

Com base nos resultados obtidos, percebe-se que para diminuir as perdas deste processo, a usina deve reduzir as causas especiais de variabilidade e atuar nas comuns, aumentando a área disponível de filtração, conforme levantado no Brainstorming, pois, as velocidades de rotação dos filtros analisadas em torno de 24 vph e pol média de 2,34% são evidências de falta de área de filtração.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, I. M. T. Controle Estatístico de Processo: o caso da produção da vacina contra *Hæmophilus influenzae* TIPO B – HIB. 2005.102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023. Informações e documentação = Referências Bibliográficas – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. NBR 10520. Informações e documentação = Apresentação de citações em documentos Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. NBR 14724. Informações e documentação - Trabalhos acadêmicos. Rio de Janeiro, 2005.

BARBARÁ, et al. Gestão por processos: fundamentos, técnicas e modelos de implementação: foco no sistema de gestão da qualidade com base na ISSO 9000:2000. Rio de Janeiro: editora Qualitymark, 2006, 316 p.

BELAI, H. T. Uso de Subprodutos na Indústria Sucroalcooleira no manejo de um Neossolo Quartzarênico Órtico Típico. 2006. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Matogrosso, Cuiabá.

BRIMSON, J. A. Contabilidade por Atividades: uma abordagem de custeio baseado em atividades. São Paulo: Atlas, 1996, 232 p.

BORNIA, A.C. Mensuração das Perdas dos Processos Produtivos: uma metodológica de controle interno, 1995. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CAMPOS, M. S. Desvendando o MINITAB. Rio de Janeiro: editora Qualitymark, 2003.

CAMPOS, V. F. Controle da qualidade total (no estilo japonês. 4ª Ed. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, 1992, 229 p.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços uma Abordagem Estratégica. São Paulo: Atlas, 2006, 690 p.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E.K; CARPINETTI, L. R. Controle Estatístico da Qualidade. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2005, 334 p.

COSTA NETO, P. O. Estatística. 2 edição. São Paulo: editora Edgard Blücher, 2002, 266 p.

DEMING, W. Edwards. Qualidade: A revolução da Administração. Rio de Janeiro, Editora Marques-Saraiva 1990.

DEVORE J. L. Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006, 692 p.

DINIZ, M. G. Desmistificando o Controle Estatístico de Processo. 1ª Ed. São Paulo: editora Artliber, 2001, 71 p.

DRUMOND, B. F.; WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. Análise de Variância: Comparação de Várias Situações. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1996, 302 p.

FEIGENBAUM, A. V. Controle da Qualidade Total: Métodos Estatísticos Aplicados À Qualidade. Volume III. São Paulo: editora McGraw-Hill Ltda., 1994, 379p.

GUINATO, P. Sistema Toyota de Produção: mais que simplesmente Just-in-time. Caxias do Sul: EDUCS, 1996, 177 p.

HUGOT, E. Manual da Engenharia Açucareira. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1969, 544 p.

MARTINEZ, J. C. Apostila: Estatística para Múltiplas Variáveis: Um texto Introdutório Didático. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UNESP, Bauru, 2007.

MONTGOMERY, D. C. Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2004, 513 p.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003, 463p.

NAKAGAWA, M. Gestão Estratégica de Custos: conceitos, sistemas e implementação. São Paulo: Atlas, 1991, 111 p.

OHNO, T. O Sistema Toyota de produção – além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997, 149 p.

OLIVEIRA, O. J. et al. Gestão da Qualidade: tópicos avançados. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004, 243 p.

POLONIO, W, L. Análise de diferentes meios filtrantes primários usados em filtro contínuo de tambor rotativo a vácuo para lodo de caldo de cana de açúcar. 2004. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Bauru.

\_\_\_\_\_ Filtração direta de lodo de caldo de cana. Revista meio filtrante, ano VIII edição n° 39 julho/agosto de 2009.

PROENÇA, É, R. Caracterização da produção de cana-de-açúcar e de inovações tecnológicas adotadas por usinas da regional de Andradina (SP). 2008. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

RAMOS, A, W. CEP para Processos Contínuos e em Bateladas. São Paulo: editora Edgard Blücher, 2000, 130 p.

ROTONDARO, R. G. Gerenciamento por processos. In CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. Gestão da Qualidade: Teoria e Casos. Rio de Janeiro, Elsevier, 2005, 355 p.

SAMOHYL, R. W. Controle Estatístico de Processo e Ferramentas da Qualidade. In CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. Gestão da Qualidade: Teoria e Casos. Rio de Janeiro, Elsevier, 2005, 355 p.

SOARES, A. A. O Índice de Capacidade multivariado como Instrumento para Avaliação do Processo em uma Operação de Usinagem. 2006.114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOARES, G. M. V. P. P. Aplicação do Controle Estatístico de Processos em Indústria de Bebidas: um estudo de caso. 2001.133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOUZA, R. A. Análise da Qualidade do Processo de Envase Azeitona Verdes através de algumas Ferramentas do Controle Estatístico de Processo. 2003. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SLACK, N. et al. Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 1999, 526p.

SHINGO, S. O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre: Bookman, 1996, 280p.

\_\_\_\_\_ O Sistema Toyota de Produção com estoque zero – O Sistema Shingo para melhorias Contínuas. Porto Alegre: Bookman, 1996, 380p.

VIEIRA, S. Estatística para a Qualidade: Como Avaliar com Precisão a Qualidade em Produtos e Serviços. São Paulo: Campus, 1999, 198 p.

WALPOLE, R. E. et al. Probabilidade e estatística para engenharia e ciências. 8ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

WEBSTER, A. Estatística Aplicada à Administração e Economia. São Paulo: MacGraw-Hill, 2006.

WERKEMA, M. C. C. As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos. 2ª Ed Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995, 128 p.

WOMACK, J. P; JONES, D. T. A Mentalidade Enxuta nas Empresas: Elimine o desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Campus, 1998, 408p.

APÊNDICE A - Folha de Verificação do processo de filtração

1/12/2008		FILTROS												AMOSTRA COMPOSTA							
TURNO	HORARIO	VAZÃO DA ÁGUA (m³/h)	1			2			3			4			5			6			
			VÁCUO (Po/Hg)	ROTAÇÃO (VPH)	POL.TORTA (%)	VÁCUO (Po/Hg)	ROTAÇÃO (VPH)	POL.TORTA (%)	VÁCUO (Po/Hg)	ROTAÇÃO (VPH)	POL.TORTA (%)	VÁCUO (Po/Hg)	ROTAÇÃO (VPH)	POL.TORTA (%)	VÁCUO (Po/Hg)	ROTAÇÃO (VPH)	POL.TORTA (%)	VÁCUO (Po/Hg)	ROTAÇÃO (VPH)	POL.TORTA (%)	
			ALTO	BAIXO		ALTO	BAIXO		ALTO	BAIXO		ALTO	BAIXO		ALTO	BAIXO		ALTO	BAIXO		
A	11:00	175	16	8	1.7	15	7	4.12	17	9	2.71	16	8	1.90	16	9	2.91	18	8	2.71	1.80
	15:00				25.6			26			25.7			25.2			25.7			24.3	3.11
B	19:00	170	15	8	3.72	15	8	4.12	17	9	1.5	17	8	2.31	16	9	2.51	18	8	2.71	3.21
	23:00				25.4			25.9			25.8			25.5			25.9			24.8	2.51
C	3:00	170	16	8	3.43	15	8	2.51	17	8	3.82	15	9	4.08	15	7	3.15	16	8	3.31	3.90
	7:00				25.8			26			25.9			25.8			26			25.3	3.21

TURNO	HORARIO	FILTRO	OBSERVAÇÕES
A			
B			
C			
TURNO	A	OPERADOR	
	B		
	C		

APÊNDICE B - Dados médios dos ensaios do filtro rotativo 4 de tamanho 4.270 mm de diâmetro x 12.190 mm de comprimento (14' x 40')

Data	Rotação do filtro (VPH)	Vazão de água (m <sup>3</sup> /h)	Pressão		Espessura da torta (mm)	Pol da torta (%)	Umidade da torta (%)
			Baixo vácuo (Pol. de Hg)	Alto vácuo (Pol. de Hg)			
16/10	25	40	8.00	18.10	5.00	2.23	71.20
16/10	25	35	8.13	18.35	5.50	2.00	70.40
16/10	25	30	8.00	18.20	6.00	2.91	71.40
16/10	25	20	8.00	18.65	6.00	3.37	70.40
17/10	20	40	8.50	17.90	6.00	1.70	71.20
17/10	20	35	8.00	17.30	5.75	1.40	70.20
17/10	20	30	8.00	16.90	5.00	2.45	70.20
17/10	20	20	8.13	18.65	5.75	2.02	72.00
21/10	15	40	7.75	14.50	4.75	1.12	70.20
21/10	15	35	8.00	15.70	5.00	0.90	72.00
21/10	15	30	8.00	15.60	5.00	2.02	68.40
21/10	15	20	8.00	15.90	5.00	1.96	67.40
25/10	10	40	8.50	14.55	4.50	1.28	70.20
25/10	10	35	8.50	16.00	7.00	1.70	71.40
25/10	10	30	8.25	16.25	7.00	1.27	72.40
25/10	10	20	8.50	17.85	7.75	1.75	72.20



APÊNDICE C - Dados dos ensaios do filtro rotativo 4 de tamanho 4.270 mm de diâmetro x 12.190 mm de comprimento (14'x40') com velocidade de rotação de 25 voltas por hora

Data	16/10/08		Pressão		Espessura da Torta (mm)	Pol da torta (%)	Umidade da torta (%)
Hora	Rotação do filtro (VPH)	Vazão de água (m³/h)	Baixo vácuo (Pol. de Hg)	Alto vácuo (Pol. de Hg)			
8:00	25	40	8.00	17.80	5.00	2.16	71.20
8:30	25	40	8.00	18.00	5.00	2.14	71.30
9:00	25	40	8.00	18.00	5.00	2.39	71.10
9:30	25	40	8.00	18.60	5.00	2.23	71.20
<b>Média</b>	<b>25</b>	<b>40</b>	<b>8.00</b>	<b>18.10</b>	<b>5.00</b>	<b>2.23</b>	<b>71.20</b>
10:00	25	35	8.50	18.40	5.00	1.97	70.70
10:30	25	35	8.00	18.40	5.00	2.02	70.50
11:00	25	35	8.00	18.20	6.00	2.01	70.00
11:30	25	35	8.00	18.40	6.00	2.00	70.40
<b>Média</b>	<b>25</b>	<b>35</b>	<b>8.13</b>	<b>18.35</b>	<b>5.50</b>	<b>2.00</b>	<b>70.40</b>
12:30	25	30	8.00	18.40	6.00	2.88	71.00
13:00	25	30	8.00	18.40	6.00	2.97	71.70
13:30	25	30	8.00	18.00	6.00	2.88	71.50
14:00	25	30	8.00	18.00	6.00	2.91	71.40
<b>Média</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>8.00</b>	<b>18.20</b>	<b>6.00</b>	<b>2.91</b>	<b>71.40</b>
14:30	25	20	8.00	18.60	6.00	3.30	70.20
15:00	25	20	8.00	18.60	6.00	3.46	70.70
15:30	25	20	8.00	18.80	6.00	3.36	70.30
16:00	25	20	8.00	18.60	6.00	3.37	70.40
<b>Média</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>8.00</b>	<b>18.65</b>	<b>6.00</b>	<b>3.37</b>	<b>70.40</b>

APÊNDICE D - Dados dos ensaios do filtro rotativo 4 de tamanho 4.270 mm de diâmetro x 12.190 mm de comprimento (14'x40') com velocidade de rotação de 20 voltas por hora

Data	17/10/08		Pressão		Espessura da Torta (mm)	Pol da torta (%)	Umidade da torta (%)
Hora	Rotação do filtro (VPH)	Vazão de água (m <sup>3</sup> /h)	Baixo vácuo (Pol. de Hg)	Alto vácuo (Pol. de Hg)			
8:00	20	40	8.50	18.20	7.00	1.66	71.00
8:30	20	40	8.50	18.00	6.00	1.71	71.40
9:00	20	40	8.50	17.80	6.00	1.71	71.20
9:30	20	40	8.50	17.60	5.00	1.70	71.20
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>8.50</b>	<b>17.90</b>	<b>6.00</b>	<b>1.70</b>	<b>71.20</b>
10:00	20	35	8.00	17.60	6.00	1.35	69.90
10:30	20	35	8.00	17.40	6.00	1.45	70.20
11:00	20	35	8.00	17.40	6.00	1.39	70.50
11:30	20	35	8.00	16.80	5.00	1.40	70.20
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>35</b>	<b>8.00</b>	<b>17.30</b>	<b>5.75</b>	<b>1.40</b>	<b>70.20</b>
12:30	20	30	8.00	17.20	5.00	2.40	70.40
13:00	20	30	8.00	16.80	5.00	2.47	70.00
13:30	20	30	8.00	16.80	5.00	2.46	70.20
14:00	20	30	8.00	16.80	5.00	2.45	70.20
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>8.00</b>	<b>16.90</b>	<b>5.00</b>	<b>2.45</b>	<b>70.20</b>
14:30	20	20	8.00	17.80	5.00	1.97	72.20
15:00	20	20	8.50	18.00	6.00	2.03	72.00
15:30	20	20	8.00	19.20	6.00	2.04	71.80
16:00	20	20	8.00	19.60	6.00	2.02	72.00
<b>Média</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>8.13</b>	<b>18.65</b>	<b>5.75</b>	<b>2.02</b>	<b>72.00</b>

APÊNDICE E - Dados dos ensaios do filtro rotativo 4 de tamanho 4.270 mm de diâmetro x 12.190 mm de comprimento (14'x40') com velocidade de rotação de 15 voltas por hora

Data	21/10/08		Pressão		Espessura da Torta (mm)	Pol da torta (%)	Umidade da torta (%)
Hora	Rotação do filtro (VPH)	Vazão de água (m³/h)	Baixo vácuo (Pol. de Hg)	Alto vácuo (Pol. de Hg)			
8:00	15	40	7.50	13.40	4.00	1.07	70.00
8:30	15	40	7.50	13.40	5.00	1.13	70.40
9:00	15	40	8.00	16.20	5.00	1.17	70.20
9:30	15	40	8.00	15.00	5.00	1.12	70.20
<b>Média</b>	<b>15</b>	<b>40</b>	<b>7.75</b>	<b>14.50</b>	<b>4.75</b>	<b>1.12</b>	<b>70.20</b>
10:00	15	35	8.00	15.80	5.00	0.88	71.80
10:30	15	35	8.00	15.60	5.00	0.92	72.20
11:00	15	35	8.00	15.60	5.00	0.90	72.00
11:30	15	35	8.00	15.80	5.00	0.90	72.00
<b>Média</b>	<b>15</b>	<b>35</b>	<b>8.00</b>	<b>15.70</b>	<b>5.00</b>	<b>0.90</b>	<b>72.00</b>
12:30	15	30	8.00	15.40	5.00	1.97	68.70
13:00	15	30	8.00	15.40	5.00	2.09	68.10
13:30	15	30	8.00	15.60	5.00	2.00	68.40
14:00	15	30	8.00	16.00	5.00	2.02	68.40
<b>Média</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>8.00</b>	<b>15.60</b>	<b>5.00</b>	<b>2.02</b>	<b>68.40</b>
14:30	15	20	8.00	16.00	5.00	1.93	67.50
15:00	15	20	8.00	16.00	5.00	1.99	67.30
15:30	15	20	8.00	15.80	5.00	1.96	67.40
16:00	15	20	8.00	15.80	5.00	1.96	67.40
<b>Média</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>8.00</b>	<b>15.90</b>	<b>5.00</b>	<b>1.96</b>	<b>67.40</b>

APÊNDICE F - Dados dos ensaios do filtro rotativo 4 de tamanho 4.270 mm de diâmetro x 12.190 mm de comprimento (14'x40') com velocidade de rotação de 10 voltas por hora

Data	25/10/08		Pressão		Espessura da Torta (mm)	Pol da torta (%)	Umidade da torta (%)
Hora	Rotação do filtro (VPH)	Vazão de água (m³/h)	Baixo vácuo (Pol. de Hg)	Alto vácuo (Pol. de Hg)			
8:00	10	40	8.50	14.60	4.00	1.26	70.00
8:30	10	40	8.50	14.60	4.00	1.26	70.40
9:00	10	40	8.50	14.60	5.00	1.30	70.20
9:30	10	40	8.50	14.40	5.00	1.28	70.20
<b>Média</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>8.50</b>	<b>14.55</b>	<b>4.50</b>	<b>1.28</b>	<b>70.20</b>
10:00	10	35	8.50	16.00	7.00	1.68	71.30
10:30	10	35	8.50	16.00	7.00	1.70	71.50
11:00	10	35	8.50	16.00	7.00	1.72	71.40
11:30	10	35	8.50	16.00	7.00	1.70	71.40
<b>Média</b>	<b>10</b>	<b>35</b>	<b>8.50</b>	<b>16.00</b>	<b>7.00</b>	<b>1.70</b>	<b>71.40</b>
12:30	10	30	8.00	15.60	7.00	1.35	72.20
13:00	10	30	8.00	15.60	7.00	1.22	72.60
13:30	10	30	8.50	16.80	7.00	1.24	72.40
14:00	10	30	8.50	17.00	7.00	1.27	72.40
<b>Média</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>8.25</b>	<b>16.25</b>	<b>7.00</b>	<b>1.27</b>	<b>72.40</b>
14:30	10	20	8.50	17.80	7.00	1.72	71.90
15:00	10	20	8.50	17.80	8.00	1.78	72.50
15:30	10	20	8.50	18.00	8.00	1.75	72.20
16:00	10	20	8.50	17.80	8.00	1.75	72.20
<b>Média</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>8.50</b>	<b>17.85</b>	<b>7.75</b>	<b>1.75</b>	<b>72.20</b>

## APÊNDICE G: Gráfico da análise da capacidade de processo

