

VICENTE CIACCIA

**APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA:
UM CASO NA INDÚSTRIA QUÍMICA**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção

São Paulo

2004

VICENTE CIACCIA

**APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA:
UM CASO NA INDÚSTRIA QUÍMICA**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do Diploma de
Engenheiro de Produção

ORIENTADOR:

**Prof. Dr. RENATO DE CASTRO
GARCIA**

São Paulo

2004

Agradecimentos

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria Célia e José Antônio Ciaccia, e meu irmão Fabrício, por terem sempre me apoiado e incentivado ao longo de toda minha vida.

Ao professor Renato Garcia, pela orientação durante a iniciação científica e este trabalho.

Ao engenheiro Cláudio Mariano, pela amizade e por todo o auxílio que me prestou na execução deste trabalho.

Aos meus grandes amigos Daniel e Marc, que me ajudaram a superar da melhor maneira possível essa difícil etapa da vida que é a faculdade.

RESUMO

O presente trabalho desenvolve uma aplicação da metodologia Seis Sigma com o intuito de promover uma melhoria no sistema de compressão de ar na Carbocloro S.A. Indústrias Químicas.

Será realizada uma análise com o intuito de buscar alternativas de melhoria que permitam à empresa voltar a utilizar apenas 2 compressores de ar deixando o terceiro compressor como reserva, ao invés de utilizar os 3 compressores simultaneamente, como vem ocorrendo atualmente.

Deste modo, além de reduzir a variabilidade da pressão nas tubulações de ar, pretende-se reduzir os gastos em energia elétrica e manutenção dos compressores e evitar que o sistema chegue à sua capacidade máxima de operação, o que levaria à necessidade de novos investimentos.

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO _____ **1**

1.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	2
1.2 - A EMPRESA	2
1.3 - O ESTÁGIO	5
1.4 - O PROBLEMA	6
1.5 - OBJETIVO DO TRABALHO	7
1.6 - IMPORTÂNCIA DO TRABALHO	8
1.7 - ESTRUTURA DO TRABALHO	9
1.8 – CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	10

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA _____ **12**

2.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
2.2 - A EVOLUÇÃO DA QUALIDADE	15
2.3 – O HISTÓRICO DO SEIS SIGMA	18
2.4 - O CONCEITO DE SEIS SIGMA	19
2.5 – FERRAMENTAS UTILIZADAS	22
2.6 - A METODOLOGIA DMAIC	23

CAPÍTULO 3 – A SITUAÇÃO INICIAL DO SISTEMA

_____ **25**

3.1 – O SISTEMA DE COMPRESSÃO DE AR	26
3.2 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	33
3.2.1 – ESCOPO DO TRABALHO	33
3.2.2 – MÉTRICA DE PROCESSO	33
3.2.3 – MÉTRICA FINANCEIRA	35
3.2.4 – META	35
3.3 - MEDIÇÃO	36

Índice Geral

3.3.1 - O SISTEMA DE MEDIÇÃO - P. I.	36
3.3.2 – EFICIÊNCIA INICIAL DO SISTEMA	38
3.3.3 – OS TESTES NOS COMPRESSORES DE AR	39
3.4 – ANÁLISE DO PROBLEMA	40
3.4.1 – PRINCIPAIS ENVOLVIDOS NO PROCESSO	40
3.4.2 – UTILIZAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE AR	42
3.4.2 – POSSÍVEIS CAUSAS	45

CAPÍTULO 4 – MODIFICAÇÕES NO PROCESSO 48

4.1 – ANÁLISE DOS PONTOS A SEREM MELHORADOS	49
4.1.1 – MÃO-DE-OBRA	49
4.1.2 – MATERIAIS	49
4.1.3 – MÉTODOS	50
4.1.4 – AMBIENTE	51
4.1.5 – MEDIÇÃO	52
4.1.6 – MÁQUINAS	53
4.2 – ANÁLISE DOS PROBLEMAS DETECTADOS	57
4.3 – AÇÕES DE MELHORIA PROPOSTAS	60
4.4 – RESULTADOS OBTIDOS	63

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DOS RESULTADOS 68

5.1 - ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	69
5.2 - ANÁLISE FINANCEIRA	71

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS 75

BIBLIOGRAFIA 77

ANEXOS 80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1: Capacidade anual de produção da Carbocloro (www.carbocloro.com.br , verificado em 10/05/2004)	4
Tabela 1.2: Consumo anual de matéria prima na Carbocloro (www.carbocloro.com.br , verificado em 10/05/2004)	5
Tabela 1.3: Cronograma das atividades desenvolvidas durante a execução do trabalho (elaborado pelo autor)	11
Tabela 3.1: Resultados observados nos testes dos compressores	39
Tabela 3.2: Utilização máxima de projeto dos sistemas em relação à capacidade (elaborada pelo autor)	45
Tabela 4.1: Matriz de Causa e efeito (elaborada pelo autor)	57
Tabela 4.2: Classificação dos problemas mais importantes (elaborada pelo autor)	60
Tabela 4.3: Tempo de operação com dois compressores (elaborada pelo autor)	63
Tabela 4.4: Evolução nas pressões de ar de instrumento e de processo com a operação de 2 compressores (elaborada pelo autor)	65
Tabela 4.5: Evolução na pressão de ar de serviço (elaborada pelo autor)	66
Tabela 5.1: Economia mensal de energia (elaborada pelo autor)	72

Índice de Figuras

FIGURAS

Figura 1.1: Esquema básico da eletrólise de água e sal (retirado de material do <i>site</i> www.carbocloro.com.br e adaptado pelo autor)	3
Figura 2.1: Composição do preço (extraída da apostila Six Sigma Intro - GPS Consultores)	13
Figura 2.2: Distribuição normal (fonte: apostila Six Sigma Intro - GPS Consultores)	19
Figura 2.3: nível de confiabilidade para cada quantidade de sigmas utilizados (fonte: apostila Six Sigma Intro - GPS Consultores)	20
Figura 2.4: Metodologia DMAIC (fonte: apostila Six Sigma Intro - GPS Consultores)	24
Figura 3.1: Esquema do sistema de compressão de ar (elaborado pelo autor)	31
Figura 3.2 - Exemplo de gráfico visualizado no P.I.	37
Figura 3.3 - Exemplo de tabela do Excel criada pelo P.I.	38
Figura 3.4: Diagrama FEPSC (elaborada pelo autor)	41
Figura 3.5: Diagrama Ishikawa - Parte 1 (elaborado pelo autor)	46
Figura 3.6: Diagrama Ishikawa - Parte 2 (elaborado pelo autor)	47
Figura 4.1: Plano de ações - Parte 1 (elaborado pelo autor)	61
Figura 4.2: Plano de ações - Parte 2 (elaborado pelo autor)	62

Índice de Figuras

Figura 4.3: Tempo de operação com dois compressores (elaborada pelo autor)	64
Figura 4.4: Evolução nas pressões de ar de instrumento e de processo com 2 compressores ligados (elaborada pelo autor)	65
Figura 4.5: Evolução na pressão de ar de serviço com 2 compressores ligados (elaborada pelo autor)	67
Figura 5.1: Saída do Minitab para as pressões de ar de processo	69
Figura 5.2: Saída do Minitab para o ar de instrumento	70
Figura 5.3: Saída do Minitab para o ar de serviço	71
Figura 5.4: Economia mensal de energia (elaborada pelo autor)	72
Figura 5.5: Composição do gasto anual em manutenção do sistema de compressores (elaborado pelo autor)	74

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente trabalho trata de um tema que vem ganhado cada vez mais espaço em empresas de todos os setores da economia. A metodologia Seis Sigma representou uma grande evolução no modo com que se considera o controle da qualidade nos processos.

Se em um primeiro momento o Seis Sigma era aplicado apenas em atividades diretamente ligadas à produção e em grandes multinacionais, atualmente sua utilização está se expandindo, podendo atingir todos os processos de uma empresa, inclusive processos ligados a administração e serviços, bem como empresas de menor porte e número de funcionários.

É nesse contexto que se insere o presente trabalho, que tem como objeto de análise o sistema de compressão de ar, que é visto como uma área de importância marginal no processo produtivo da fábrica e, talvez por causa disso, operava consideravelmente abaixo do seu desempenho ideal, sendo terreno propício para a implantação de melhorias que visem aumentar o resultado da fábrica.

1.2 - A EMPRESA

Instalada no Brasil desde 1964, a Carbocloro S.A. Indústrias Químicas, é hoje uma joint-venture da **UNIPAR** - União de Indústrias Petroquímicas S/A (grupo nacional privado com atuação nas áreas química e petroquímica), com a norte-americana **Occidental Chemical Corporation** (maior fornecedor de cloro-soda dos Estados Unidos). Em 2002, a Carbocloro obteve faturamento total de 446 milhões de reais.

Capítulo 1 - Introdução

Produz atualmente uma completa linha de Cloro-Álcalis, fornecendo a matéria-prima que serve de base para importantes segmentos do parque industrial brasileiro. Os produtos Carbocloro são componentes fundamentais para fabricação de sabões, detergentes, remédios, plásticos, comestíveis, tecidos, entre outros.

A Carbocloro é responsável por 49% do mercado nacional de cloro líquido e 17% do mercado de soda cáustica. Responde também por 40% dos mercados de ácido clorídrico e hipoclorito de sódio.

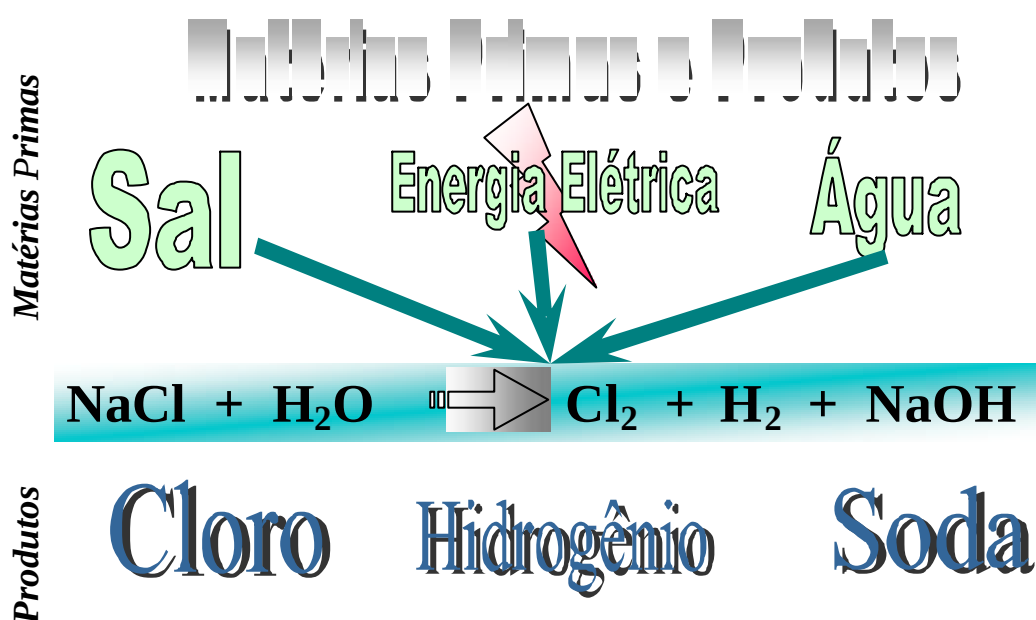


Figura 1.1: Esquema básico da eletrólise de água e sal (retirado de material do [site www.carbocloro.com.br](http://www.carbocloro.com.br) e adaptado pelo autor)

Na tabela a seguir está representada a capacidade anual de produção da Carbocloro:

Capítulo 1 - Introdução

Produto	Quantidade (ton / ano)
Soda Líquida	284.000
Soda Anidra - Em Escama e Fundida	50.000
Cloro	253.000
Ácido clorídrico	250.000
Hipoclorito de Sódio	275.000
Hidrogênio	79.200.000 m ³ / ano
EDC (Dicloroetano)	140.000

Tabela 1.1: Capacidade anual de produção da Carbocloro (www.carbocloro.com.br, verificado em 10/05/2004)

E o consumo anual de matéria prima é da ordem de:

Capítulo 1 - Introdução

Matéria Prima	Quantidade Anual
Sal	440.000 ton / ano
Eletricidade	900.000 MWh / ano

Tabela 1.2: Consumo anual de matéria prima na Carbocloro (www.carbocloro.com.br, verificado em 10/05/2004)

Para se ter uma idéia da magnitude do consumo de eletricidade na empresa, 900.000 MWh por ano é o consumo aproximado de uma cidade com 500.000 habitantes.

1.3 - O ESTÁGIO

Durante o desenvolvimento deste trabalho, o autor desempenhou o cargo de estagiário na Carbocloro S.A. Indústrias Químicas. O estágio ocorre na Célula de Engenharia de Fábrica – Setor de Projetos e Processos. As principais atividades desenvolvidas no estágio foram:

- Elaboração de projetos de investimento e estimativas de custo
- Elaboração de especificações de compra

Capítulo 1 - Introdução

- Análises técnicas de propostas e contatos com fornecedores
- Cálculos mecânicos e estruturais
- Participação em estudos de melhoria de processo e projetos de Seis Sigma

Deste modo, o autor tem uma maior proximidade com os engenheiros de projeto e de processos e com os projetistas, porém para desempenhar as funções acima citadas é necessário manter um contato com os diferentes setores da fábrica, principalmente com os encarregados de produção, instrumentação, manutenção, suprimentos e os operadores da área fabril. Esta possibilidade de livre movimentação entre os setores foi extremamente favorável à realização deste trabalho, tendo em vista que o sistema de ar comprimido está envolvido no trabalho de parcela significativa da fábrica.

1.4 - O PROBLEMA

O sistema de compressão de ar da Carbocloro é composto de 3 compressores (que neste trabalho serão chamados de CP-601, CP-602 e CP-603), que captam o ar atmosférico após passagem por filtros e efetuam as operações de compressão, resfriamento e remoção de condensado, para depois verter o ar em uma linha única.

Posteriormente, a linha de ar se divide em duas. Uma delas, após passar por filtração e secagem, atende a linha de “ar de instrumento”, que se destina a toda a instrumentação da fábrica que necessita de ar para a operação. A outra se divide novamente para atender o “ar de processo”, após filtração e secagem, e o “ar de serviço”, que não passa por esses processos por consistir em operações que não necessitam de elevado grau de pureza do ar.

Capítulo 1 - Introdução

Nas condições originais de operação, operavam apenas 2 compressores de cada vez, ficando o terceiro como reserva para o caso de alguma adversidade. No entanto, alguns anos atrás (não foi possível determinar a data exata), nas situações de pico de consumo o sistema passou a não conseguir sustentar a pressão adequada para as linhas de ar (7,0 kgf/cm² para as linhas de ar de processo e de instrumentação e 6,0 kgf/cm² para a linha de ar de serviço) com apenas 2 compressores, fato que foi remediado adotando-se a utilização simultânea dos 3 compressores nessas situações.

Com o passar do tempo, a situação foi se deteriorando, chegando ao ponto que, no presente momento, o sistema passa mais tempo operando com 3 compressores do que com apenas 2. Deste modo, 2 constatações principais podem ser feitas:

1. O gasto em energia elétrica para manter os compressores funcionando é significativamente maior hoje do que há alguns anos.
2. Caso a tendência de aumento da taxa de utilização da capacidade do sistema se mantenha, em algum tempo esta taxa chegará a 100%, e portanto o sistema passará a não atender as necessidades de pressão adequada para as linhas.

1.5 - OBJETIVO DO TRABALHO

Tendo em vista o problema observado anteriormente, o objetivo deste trabalho é efetuar uma análise das causas da queda de rendimento no sistema de compressão de ar com o intuito de elaborar possibilidades de melhoria no processo. Deste modo, espera-se atingir a meta final de 66,7% de utilização da capacidade total dos compressores, o que equivale à situação original do sistema: funcionar 100% do tempo com apenas 2

compressores operando, de modo a deixar o terceiro compressor como reserva para eventuais necessidades.

Para cumprir com esse objetivo, foi utilizada a metodologia do Seis Sigma, que fornece as ferramentas necessárias para a racionalização dos procedimentos a serem adotados.

1.6 - IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

A longo prazo, uma melhoria no processo de ar comprimido evitaria que o sistema chegasse ao seu limite, evitando portanto custos de aumento na capacidade de compressão de ar. Além disso, um processo com um maior controle apresentaria diminuição da variação observada na pressão das linhas, aumentando a eficiência das utilizações de ar comprimido por toda a fábrica.

No entanto, estas duas vantagens citadas anteriormente são de difícil mensuração, já que a pressão do ar comprimido é uma variável contínua, e portanto não há uma relação exata e constante de quanto se perde em termos de eficiência por kgf/cm^2 a menos nas linhas. Além disso, mesmo mantendo-se a tendência atual de piora na situação, não existem evidências suficientes para prever em quanto tempo seriam necessárias medidas para o aumento de capacidade do sistema.

Assim, a única estimativa palpável de quanto se economizaria com esse trabalho consiste em avaliar a redução do consumo de energia elétrica. Para esse propósito, a métrica utilizada é o total de horas de operação dos compressores. Tomando-se como base os dados entre 21 de março e 19 de abril de 2004, observa-se a seguinte situação:

- *Disponibilidade total de horas:* 24 horas/dia x 30 dias x 3 compressores = **2160 horas**

Capítulo 1 - Introdução

- *Situação ideal:* 24 horas/dia x 30 dias x 2 compressores = **1440 horas**
- *Situação observada no período:* **1979horas** – 91,6% da disponibilidade total

Portanto, atingindo-se a meta de voltar à situação original, com o uso de apenas 2 compressores durante 100% do tempo, diminuiria a utilização dos compressores em $(1979 - 1440) = 539$ horas / mês, o que representaria uma redução de **R\$4.400,00 / mês** no gasto com energia elétrica, considerando os valores de custo de energia elétrica pagos pela Carbocloro no período-base considerado, além da possível redução nos custos de mão-de-obra e materiais necessários para a manutenção do sistema.

1.7 - ESTRUTURA DO TRABALHO

De modo a atender o objetivo proposto, o desenvolvimento deste trabalho será estruturado em 6 capítulos.

1. O primeiro capítulo trata da introdução ao tema, contendo a apresentação da empresa objeto do trabalho e do vínculo do autor à mesma, a descrição do problema a ser enfrentado e sua relevância para a organização.
2. O segundo capítulo diz respeito à revisão bibliográfica, na qual serão analisados os textos já publicados sobre o tema que tenham relação ao desenvolvimento do presente trabalho. O objetivo deste capítulo é fornecer a base teórica que foi utilizada no planejamento das atividades desempenhadas.
3. No terceiro capítulo são apresentados os materiais que serviram como base à análise do problema. Neste capítulo estão expostos a situação em que o sistema de ar comprimido se encontrava antes da realização do trabalho, uma definição

Capítulo 1 - Introdução

do escopo do trabalho, a maneira como foram realizadas as atividades de medição, e uma análise preliminar das possíveis causas de problemas no sistema.

4. O quarto capítulo explica a análise que foi feita acerca das deficiências encontradas no sistema. Abrange o diagnóstico dos principais problemas encontrados e a apreciação das alternativas de ações de melhoria propostas. O capítulo inclui ainda os resultados observados após a implementação das ações escolhidas.
5. O quinto capítulo avalia os resultados obtidos com a implementação das ações propostas, incluindo a análise estatística necessária para validá-los, e expõe uma discussão acerca deles. É apresentada uma análise financeira da melhoria obtida, além de ser exposta a perspectiva de continuidade no controle do sistema.
6. O sexto e último capítulo fornece as conclusões e considerações finais a respeito de todo o trabalho.

1.8 – CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Durante o desenvolvimento deste trabalho, durante o período de abril a novembro de 2004, foram desempenhadas as atividades explicitadas a seguir, durante os períodos expostos no cronograma apresentado na sequência.

- A. Revisão bibliográfica
- B. Análise do processo
- C. Determinação das possíveis causas

Capítulo 1 - Introdução

- D. Elaboração de propostas de melhoria
- E. Implementação das ações de melhoria
- F. Monitoramento e verificação dos resultados
- G. Análise dos resultados obtidos
- H. Elaboração do Relatório Final do trabalho

Atividade / mês	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
A								
B								
C								
D								
E								
F								
G								
H								

Tabela 1.3: Cronograma das atividades desenvolvidas durante a execução do trabalho (elaborado pelo autor)

Como se pode concluir a partir do cronograma, a duração total do trabalho foi de sete meses e meio, sendo seis meses de atividades previstas para um projeto de Seis Sigma (de maio a outubro), acrescidos de um mês e meio de atividades de fins acadêmicos (revisão bibliográfica e elaboração deste relatório).

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

2.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Não é à toa o grande esforço que empresas de todos os setores e de todas as partes do mundo dependem com o controle da qualidade. Num ambiente altamente competitivo, há cada vez menos margem para imperfeições – com disputas acirradas entre concorrentes para ver quem consegue fornecer pelo menor preço, é essencial qualquer esforço para se diminuir os desperdícios, de modo a manter os custos num nível mínimo, aumentando assim a margem de lucro obtida.

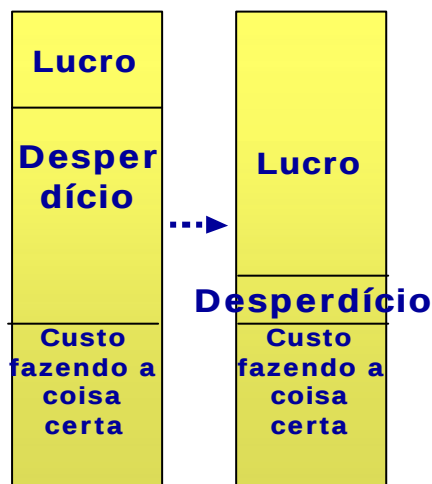


Fig 2.1: Composição do preço (extraída da apostila Six Sigma Intro - GPS Consultores)

Em qualquer empresa, podem-se encontrar desperdícios em diversas etapas do processo:

- Custo operacional
- Inventário / estoques

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

- Capital de giro
- Atividades que não agregam valor
- Tempos de ciclo de desenvolvimento de produtos e serviços
- Índices de retrabalho
- Índices de rejeição
- Perda de clientes
- Tempo de ciclo de produção de produtos e serviços
- Tempo de equipamento parado
- Problemas com materiais recebidos, etc.

Deste modo, abre-se uma ampla gama de possibilidades de atuação para a melhoria da qualidade, que adquire importância estratégica para as organizações, uma vez que a diminuição da variabilidade dos processos ocasionaria uma redução nos custos associados a esses desperdícios.

Segundo MCCLUSKY (2000), muitas empresas vem demonstrando que a implementação do Seis Sigma tem gerado um retorno sobre o investimento bastante satisfatório.

2.2 - A EVOLUÇÃO DA QUALIDADE

Desde o advento do sistema fordista/taylorista de produção, por volta da década de 20, as empresas dedicam fração considerável dos seus esforços ao controle da qualidade do produto. Ao passar das décadas seguintes, os métodos utilizados sofreram sucessivas modificações até chegar ao cenário propício ao aparecimento da metodologia Seis Sigma.

O fordismo/taylorismo representou uma verdadeira revolução em termos de organização do trabalho, considerando que pela primeira vez o planejamento e controle da produção eram desempenhados por departamentos desvinculados à execução do trabalho propriamente dita. Assim, aos operários cabiam apenas as tarefas relativas ao trabalho braçal, geralmente mecânicas e repetitivas.

Nesse contexto, o controle da qualidade do produto se resumia aos cargos de inspeção, que cuidavam de verificar se as peças e os produtos estavam sendo produzidos conforme o padrão pré-estabelecido. Para isso, eram bastante utilizados gabaritos do tipo “passa/não-passa” [GARVIN 88]. Deste modo, o trabalho acabava sendo avaliado apenas pelo seu resultado final, sem uma preocupação em melhorar o processo de fabricação em si [SHIBA 93].

Com a proliferação da produção em massa, nas décadas de 40 e 50, embora tenha permanecido a mesma mentalidade de avaliar a qualidade como adequação a um padrão pré-estabelecido, as técnicas utilizadas foram sendo aprimoradas. Deste modo surgiram as cartas de controle e o Controle Estatístico de Processo (CEP), que tinham como objetivo reduzir a variabilidade dos resultados através do estudo estatístico dos fatores que influenciavam o processo.

Paralelamente, desenvolveram-se as técnicas de inspeção por amostragem, que estabeleciam um nível de qualidade aceitável, ou seja, um número máximo de não-

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

conformidades que poderiam ser encontradas em uma amostra de determinado tamanho. Essas ferramentas estatísticas eliminaram a necessidade de inspeção 100%, conseqüentemente reduzindo drasticamente a quantidade de pessoal necessário e os custos inerentes às atividades de inspeção.

Durantes as décadas de 60 e 70, as empresas japonesas viveram um período de impressionante expansão, ganhando fatias de mercado das companhias ocidentais em diversas frentes. Tentando explicar o fenômeno, analistas começaram a observar as particularidades que distinguiam as firmas japonesas de suas concorrentes ocidentais, chegando à conclusão que as primeiras tinham, entre outros fatores, uma cultura diferenciada em relação à questão da qualidade. A estratégia japonesa tinha como base evitar ao máximo qualquer tipo de desperdício na produção, de modo a minimizar os custos de processo.

Ferramentas como os pilares da Manutenção Produtiva Total (TPM), o Just-in-Time (JIT), Poka-Yoke e a filosofia dos 5S (Utilização, Ordenação, Limpeza, Saúde e Auto-Disciplina) contribuíam para reduzir os tempos de *setup* e a frequência de quebras, bem como a necessidade de inspeção final, uma vez que com um número bastante reduzido de defeitos o tamanho necessário da amostra a ser inspecionada também se torna menor (WOMACK 1992).

Deste modo, a qualidade começou a ser considerada no próprio processo produtivo, ao invés de em um departamento independente. O foco passou a ser a busca da adequação ao custo, procurando alcançar a máxima qualidade através do mínimo custo. Essa época foi caracterizada por quatro movimentos principais:

- Custos da qualidade: Trata principalmente da mensuração dos custos de processo, objetivando descobrir todos os pontos que poderiam ser melhorados para reduzir esses custos. Esse movimento é caracterizado pela ênfase na prevenção, por esta, a longo prazo, reduzir progressivamente os custos de falhas.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

- Controle da Qualidade Total (TQC): Visão da qualidade não em atividades específicas, mas sim no processo como um todo, incluindo as atividades de suporte à produção.
- Engenharia de Confiabilidade: Estudo estatístico do processo para se determinar a probabilidade de ocorrência de falhas.
- Zero-Defeito: Consistia no esforço de se diminuir ao mínimo possível o número de não conformidades em um produto/processo.

Na década de 80, a qualidade passou a ser vista cada vez mais como tendo importância estratégica para as organizações, uma vez que, em um ambiente altamente competitivo, a qualidade dos produtos era vital para a lucratividade.

Houve um aprofundamento das técnicas japonesas que enfatizavam a redução contínua dos desperdícios. O TQC foi ampliado para TQM (Total Quality Management), deixando claro que a qualidade não deve ser controlada, havendo a necessidade de se implementar uma gestão da qualidade que incluía o compromisso de toda a organização. Segundo GARVIN (1988), a educação e o treinamento tornaram-se responsabilidades vitais, assim como o trabalho de consulta a outros departamentos.

Nesse momento foi bastante valorizada a utilização do QFD e do FMEA, que permitem, respectivamente, traduzir as necessidades dos clientes em especificações técnicas, e identificar todas as possibilidades de falha de um produto ou processo.

2.3 – O HISTÓRICO DO SEIS SIGMA

O Seis Sigma foi desenvolvido primeiramente na Motorola, em meados da década de 80. Até o ano de 1999, estima-se que a empresa já obteve ganhos financeiros decorrentes do esforço Seis Sigma da ordem de 14 bilhões de dólares. (MCCLUSKY, 2000).

A seguir está representado um breve histórico do desenvolvimento da metodologia Seis Sigma na Motorola :

- 1979: Crise de qualidade na Motorola. A direção da empresa inicia uma mudança de conceito afirmando que mais qualidade não implica em mais custo, e sim o contrário.
- 1985: Dados na Motorola foram levantados demonstrando que o índice de retrabalho durante o processo produtivo era diretamente proporcional às falhas em campo. 1985: Uma equipe da empresa define uma estratégia para melhorar a qualidade dos processos da empresa. Essa estratégia é chamada Seis Sigma.
- 1987: Lançado oficialmente o “Programa de Qualidade Seis Sigma ” na Motorola
- 1990: A Motorola abre o Instituto de Pesquisa Seis Sigma, ensinando a estratégia a outras empresas (IBM, Texas, ABB, Kodak, etc...)
- 1994: Início da implementação do Seis Sigma na GE e na AlliedSignal, através de consultores independentes que saíram da Motorola
- Desde então : Várias empresas em todo o mundo vêm adotando o Seis Sigma

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

A General Electric é um dos exemplos mais bem sucedidos na adoção do Seis Sigma. Dos cerca de 340.000 funcionários da empresa, aproximadamente 100.000 já desenvolveram ou estão desenvolvendo projetos de Seis Sigma, 5.000 como Black Belts e 95.000 como Green Belts (dados de 2000 – fonte: www.ge.com).

A GE foi ainda a primeira grande empresa a extrapolar os limites da manufatura, aplicando o Seis Sigma na área administrativa e serviços, o que a levou a resultados bastante satisfatórios.

2.4 – O CONCEITO DE SEIS SIGMA

O termo Seis Sigma refere-se, em termos estatísticos, ao desvio padrão de um processo que aproximadamente obedece à distribuição normal, que é representado pela letra grega sigma.

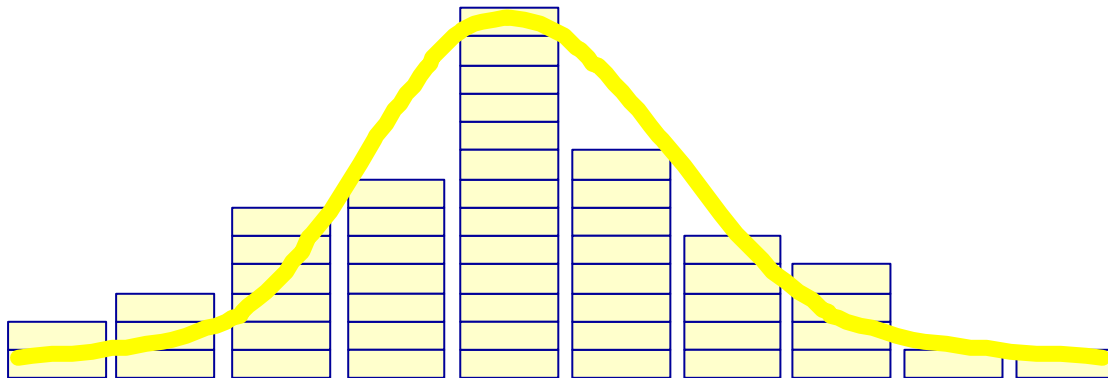


Figura 2.2: Distribuição normal (fonte: apostila Six Sigma Intro - GPS Consultores)

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

Portanto, um processo que atende ao Seis Sigma é aquele em que os limites superior e inferior estejam a uma distância de seis desvios-padrão da média, promovendo uma redução drástica quanto ao número de não conformidades, tomando-se como referência um processo de dois ou três sigmas.

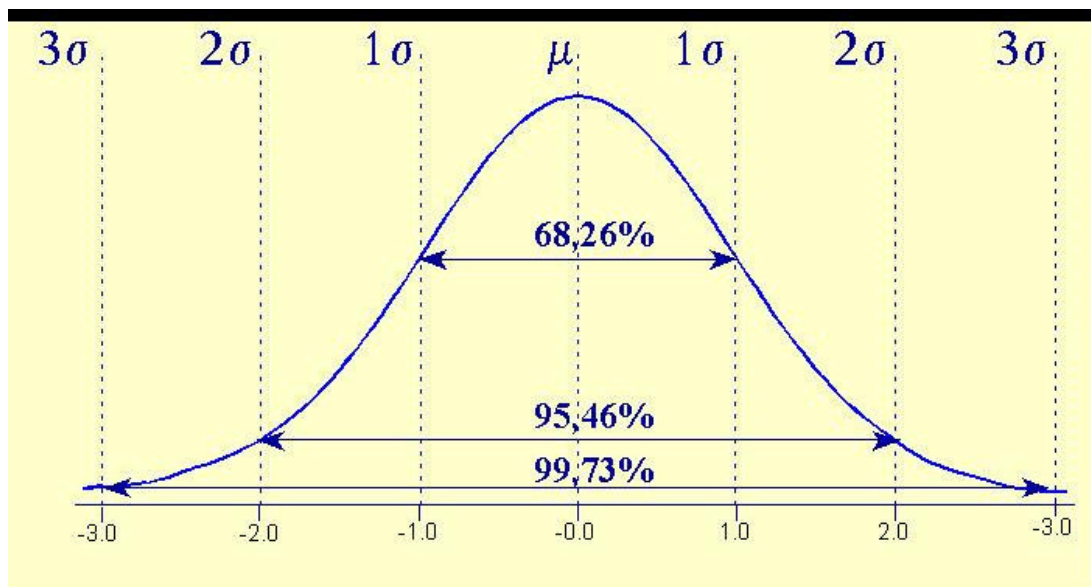


Figura 2.3: nível de confiabilidade para cada quantidade de sigmas utilizados (fonte: apostila Six Sigma Intro - GPS Consultores)

Adotando seis sigmas, o índice de confiabilidade sobe para 99,9999998%, contra 99,73% de um processo três sigma e 68,26% de um processo com apenas um sigma. Considerando que é extremamente difícil manter um processo centrado exatamente na média entre os limites superior e inferior, considera-se que um processo Seis Sigma tenha um desvio máximo de 1,5 sigmas, o que reduz sua confiabilidade para 99,99966%.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

No entanto, o Seis Sigma não encara a qualidade no sentido tradicional, apenas verificando a conformidade com normas e padrões (PYZDEK 2003), mas sim como uma maneira de se agregar valor ao produto e atingir os objetivos estratégicos.

Para o sucesso na implementação do Seis Sigma, alguns fatores devem ser observados:

- Todas as áreas da empresa devem ser envolvidas no Seis Sigma
- A performance dos processos deve ser acompanhada através da utilização de métricas consistentes
- Formação de especialistas na metodologia dentro da própria empresa (Black Belts e Green Belts)
- Foco no(s) cliente(s) do processo em questão
- Enfoque na aplicação prática dos conceitos, com projetos direcionados em equipe
- Acompanhamento financeiro dos resultados obtidos
- Participação ativa da Liderança

Os Black Belts são funcionários dedicados em tempo integral ao Seis Sigma, com alta orientação e conhecimento técnico. Eles lideram as equipes durante os projetos, definem as ferramentas a serem utilizadas e orientam os membros da equipe sobre a estratégia, as táticas e as ferramentas do Seis Sigma. Além disso, os Black Belts são também os responsáveis por conduzir os treinamentos dos Green Belts.

Os Green Belts são pessoas que recebem treinamento em Seis Sigma, porém são mantidas nas suas atividades originais, dedicando-se em tempo parcial aos projetos. São eles que utilizam as ferramentas do Seis Sigma para a solução dos problemas

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

encontrados nos projetos, sendo essenciais para difundir a metodologia para todos os funcionários.

Os demais colaboradores devem participar das equipes e apoiá-las nos esforços de melhoria. Para melhor se adequar ao projeto, devem receber treinamentos informativos sobre o programa.

2.5 – FERRAMENTAS UTILIZADAS

No desenvolvimento de um projeto de Seis Sigma, uma série de ferramentas pode ser utilizada, dentre as quais pode-se destacar, entre outras (ZINKGRAF 98):

- **Brainstorm** – processo através do qual reúnem-se os principais envolvidos no processo em questão para que o grupo levante todas as alternativas que puderem acerca de determinada questão.
- **Fluxograma** – representa a seqüência de atividades de que consiste determinado processo.
- **Listas de Verificação (checklists)** – lista em que estão colocados diversos pontos a serem verificados um a um.
- **Matriz de Desdobramento da Função Qualidade (QFD)** – Desdobramento das necessidades dos clientes em especificações técnicas.
- **Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa)** – tem como objetivo chegar a todas as potenciais causas de um determinado efeito.
- **Histograma** – diagrama em que está representada a quantidade de ocorrências em cada faixa pré-estabelecida de possíveis resultados.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

- **Gráfico de Pareto** – Indica quais os resultados mais freqüentes em determinado processo, bem como a proporção observada.
- **Análise de Efeito e Modo de Falha (FMEA)** – Análise de todas as possíveis fontes de falhas no produto ou processo.
- **Matriz de Priorização** – Matriz através da qual são dadas notas em quesitos pré-estabelecidos para cada um dos problemas observados, com o objetivo de se obter uma classificação de quais são os mais propícios a serem considerados.
- **Plano de Ação** – Apresenta quais as ações a serem tomadas para a solução de cada um dos problemas considerados.
- **Gráficos de Controle Estatístico de Processo (CEP)** – é utilizado como medida de acompanhamento do desempenho do processo. Nele estão representados a média e os limites superior e inferior do processo, e pode-se observar como os valores pontuais variam em relação a eles.

2.6 – A METODOLOGIA DMAIC

A metodologia DMAIC consiste em racionalizar as etapas do desenvolvimento do projeto, dividindo-o em 5 fases: a Definição, a Medição, a Análise, a Melhoria e o Controle.

A fase de definição em escolher o projeto a ser desenvolvido, demarcar de maneira clara o escopo de atuação do projeto, identificar os processos-chave que têm influência no projeto e formar a equipe que atuará no projeto.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

A fase de medição tem como principal objetivo efetuar um levantamento de dados que possa ser utilizado para a avaliação das condições do processo, incluindo a capacidade atual e as possíveis causas de variação.

Já a fase de análise consiste na avaliação das possibilidades de causas encontradas na fase anterior, de maneira a direcionar o projeto às possibilidades de ações de melhoria que poderão ser implementadas.

Na fase de melhoria são selecionadas e implantadas as melhorias com base na análise da etapa anterior. As ações a serem tomadas devem ser escolhidas considerando-se o quanto agregarão de valor e a dificuldade de implementação.

Já a última a fase, a de controle, consiste em continuar acompanhando o desempenho do processo depois que as melhorias foram implementadas, visando assim a manutenção dos ganhos obtidos com o projeto.

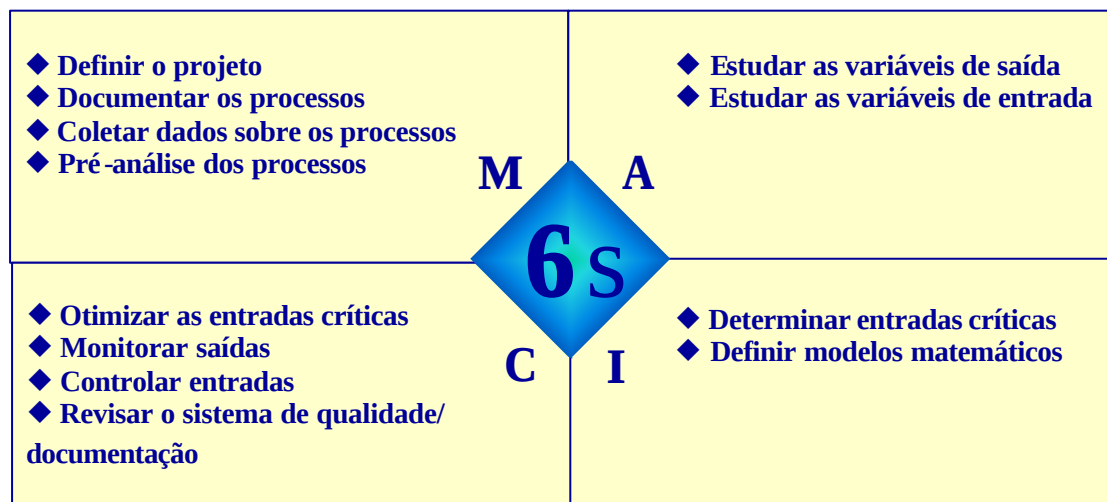


Figura 2.4: Metodologia DMAIC (fonte: apostila Six Sigma Intro - GPS Consultores)

CAPÍTULO 3 – A SITUAÇÃO INICIAL DO SISTEMA

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

3.1 – O SISTEMA DE COMPRESSÃO DE AR

A área de ar comprimido tem por finalidade comprimir ar atmosférico, produzindo três diferentes tipos de ar, com as seguintes finalidades:

- **ar de serviço:** uso geral para serviços na fábrica;
- **ar de instrumento:** uso exclusivo para os instrumentos pneumáticos;
- **ar de processo:** ar utilizado no processo de produção de cloro.

O ar de serviço é simplesmente comprimido e resfriado, sendo distribuído por toda fábrica para uso geral, limpeza, manutenção, segurança, equipamentos pneumáticos, etc.

Ar de instrumento é comprimido, resfriado e seco, sendo distribuído por toda fábrica, para uso em todos os instrumentos pneumáticos e pressurização de painéis de instrumentação.

O ar de processo é comprimido, resfriado, seco e distribuído em toda fábrica para uso em equipamentos de cloro como selagem de compressores e bombas, pressurização de tanques e equipamentos, limpeza de equipamentos de cloro, secagem de equipamentos e linhas de cloro.

O ar atmosférico é uma mistura de gases com a seguinte composição média em volume: 78,06 % de nitrogênio (N_2), 21,0 % de Oxigênio (O_2) e 0,94 % de Argônio (Ar).

O peso de ar puro a $0^\circ C$ e pressão atmosférica é de 1,2929 g/cm³. Não existe ar atmosférico seco, a mais fácil confirmação desta afirmação é o fato do ar atmosférico ser o responsável pela convecção e distribuição de água sobre a terra. Assim sendo, quando se houve falar popularmente de "ar seco", significa simplesmente estar-se falando de ar comparativamente mais seco que outro.

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

A área de ar comprimido é constituída de três compressores marca Sulzer - tipo K160 - 2A, com regulagem de 0/50/100 %, com capacidade de volume de 1500 Nm³/h, isento de óleo de lubrificação com pressão final de 9,0 Kg/cm², rotação de 705 rpm, acionado por motor elétrico marca Toshiba de 300 HP, com acoplamento direto e rígido entre compressor e motor elétrico.

Um compressor, o U6-CP-601 é utilizado para a produção de ar de processo e de serviço, tendo capacidade total de 1500 Nm³/h (sendo 900 Nm³/h para ar de instrumento que e 600 Nm³/h para ar de serviço).

O compressor U6-CP-602 é utilizado para a produção de ar de instrumento, tendo capacidade total de 1500 Nm³/h de ar seco.

O compressor U6-CP- 603 pode ser utilizado tanto para a produção de ar de instrumento quanto de ar de processo e serviço, também com capacidade de 1500 Nm³/h.

O compressor de ar de serviço e processo U6-CP-601 aspira ar da atmosfera, através de um filtro de sucção (U6-SP-635). Este filtro está ligado a um amortecedor de pulsação U6-TQ-623, que também tem uma linha de 2" de reciclo do compressor para quando opera 0%. Esta linha possui um flange de orifício, que reduz o reciclo para o bom funcionamento do compressor.

O amortecedor de pulsação U6-TQ-623 está ligado a sucção do primeiro estágio do compressor por tubulação de 8". O primeiro estágio aspira ar a pressão atmosférica e 37°C, comprimindo este ar até 2,0 Kg/cm² e 139 °C, possuindo também um intertravamento com o motor elétrico através de chave de alarme de alta temperatura com alarme ótico e acústico no painel.

O ar comprimido, ao sair do primeiro estágio do compressor, passa pelo trocador de calor intermediário U6-TC-613 de um passe, com ar nos tubos e água de resfriamento no casco em contra corrente. A linha geral de água de resfriamento tem pressão de entrada

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

de 5,0 Kg/cm² e a 30 °C, sendo utilizados 12,4 m³/h de água de resfriamento no U6-TC-613, e com temperatura de saída de 37 °C.

O ar comprimido ao sair do U6-TC-613 passa por um separador de condensados (U6-TQ-626), tendo no dreno, um purgador com previsão de 28,7 l/h de condensados. Antes de entrar na sucção do segundo estágio tem um válvula de segurança calibrada para 4,0 Kg/cm² e um indicador de temperatura.

O ar é comprimido no segundo estágio elevando a pressão para 8,0 Kg/cm², a 166 °C. Na descarga do segundo estágio também temos um termostato com intertravamento no motor atuando em 195 °C, e com alarme ótico e acústico no painel e um pressostato que está interligado com a chave de capacidade do compressor, e alarme ótico e acústico no painel.

A tubulação de descarga do segundo estágio é em 5", passando por um amortecedor de pulsação U6-TQ-616. O ar comprimido sai do amortecedor de pulsação U6-TQ-616 e entra no trocador de calor final U6-TC-604. Na linha que interliga o amortecedor de pulsação e o trocador de calor temos uma válvula de segurança PSV-U6-674, calibrada para 9,6 Kg/cm².

O trocador de calor final U6-TC-604 é de um passe, com ar nos tubos e água de resfriamento no casco. Possui 70 tubos de 3,4" de diâmetro em disposição triângulo, com 3,936 metros de comprimento.

A água de resfriamento é em contra corrente com o ar comprimido, utilizando água a 30°C, e 5,0 Kg/cm², saindo a água de resfriamento do trocador com 37 °C e indo para o coletor geral de água de resfriamento de retorno, tendo a linha um visor de fluxo, indicador de temperatura TI-U6-679 e de válvula de retenção.

O ar comprimido após ser resfriado sai em tubulação de 5" passando por um separador de gotas U6-TQ-629 estando previsto para separar 22,8 l/h de condensado através do purgador na drenagem do pote separador.

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

Após o separador de condensados U6-TQ-629, sai da linha de 5" uma linha de 2", que serve de reciclo automático do compressor pela solenóide de 1" de diâmetro, que está ligada ao sistema de capacidade do compressor.

Após a saída da linha de reciclo temos uma válvula de retenção, para evitar o retorno de pressão de ar comprimido do sistema para a descarga do compressor. A válvula manual de descarga do compressor está instalada após a válvula de retenção.

A linha de saída de 4" vai ao reservatório de ar de processo e serviço U6-TQ-607, na mesma linha de entrada deste reservatório, temos a interligação da linha de descarga do compressor de ar comprimido U6-CP-603, reserva de toda a área da compressão de ar.

O reservatório de ar de processo U6-TQ-607 é de forma cilíndrica, vertical com calotas, tendo capacidade de 10m^3 , com $8,0\text{ Kg/cm}^2$ de pressão de trabalho e 40°C . O tanque na sua parte superior possui uma válvula de segurança que está calibrada para 12 Kg/cm^2 . Além da válvula de segurança o tanque possui indicador de pressão, pressostato de baixa pressão, com alarme ótico e acústico no painel. Na base do tanque temos um purgador para eliminar os possíveis condensados do tanque.

O reservatório de ar de processo e serviço é apenas um pulmão de ar que tem como finalidade principal evitar oscilações bruscas no processo.

A saída do reservatório é de 4" possuindo três derivações que são:

1. A primeira é para ar de serviço possuindo uma válvula pneumática de 2", que fecha automaticamente quando a pressão de ar do reservatório cai a $6,5\text{ Kg/cm}^2$. Esta pneumática possui bloqueio e by-pass, seguindo para distribuição para toda área a quantidade de $600\text{ Nm}^3/\text{h}$ através de tubulação de 3", para uso geral (limpeza, pintura, equipamentos pneumáticos e etc).
2. A segunda é um a linha com bloqueio e by-pass, que deve ser utilizada quando for necessário efetuar serviços de manutenção no reservatório, isolando-o do processo.

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

3. A outra parte do ar comprimido, com 900 Nm³/h a 8,0 Kg/cm² de pressão é seca por processo de absorção, modelo C-120 com sílicas especiais em conjunto de secagem, fornecendo o ar de processo, com um ponto de orvalho de -40°C a pressão atmosférica ou a -20°C a pressão de 8,0 Kg/cm². O ar de processo ainda passa por uma unidade de filtração e secagem antes de ser distribuída pela fábrica por tubulações de 3”.

.

Todo este ciclo de operação está programado através do Controle Lógico Programável (CLP), que está instalado na Sala de Controle Central. Este controle efetua a troca de colunas, aquecimento, resfriamento, pressurização e despressurização do sistema de secadores.

A operação do compressor da linha de ar de instrumento é similar, sendo a única diferença a ausência da ramificação da linha para atender ar de serviço.

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

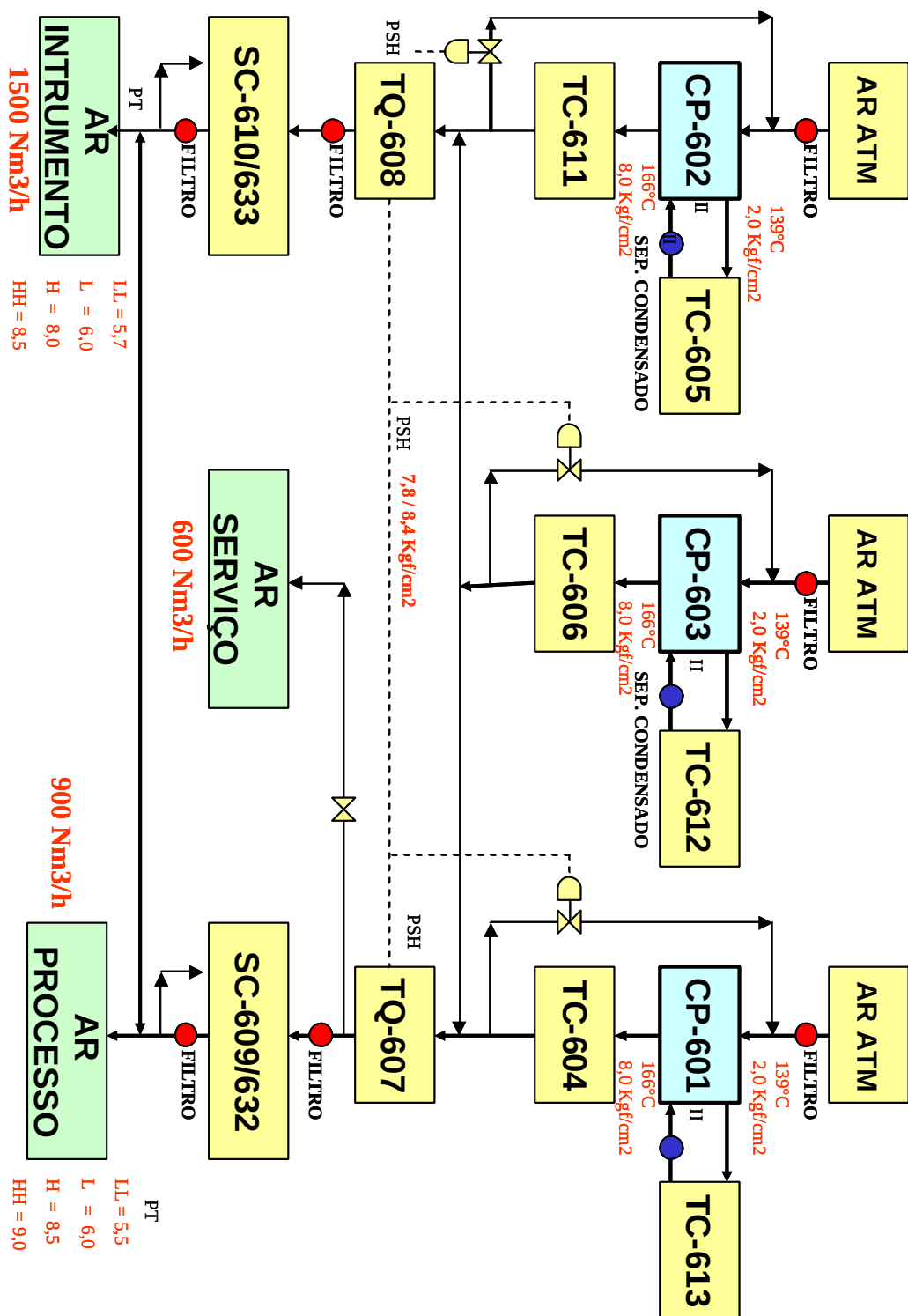


Fig. 3.1: Esquema do sistema de compressão de ar (elaborado pelo autor)

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

O sistema foi originalmente projetado para a operação de apenas 2 compressores de cada vez, sendo previsto um terceiro compressor para ser utilizado como reserva para o caso de alguma emergência. No entanto, com o passar dos anos, ocorreram diversas alterações pontuais no sistema e um aumento na demanda interna de ar comprimido. Deste modo, nas situações de pico de consumo o sistema passou a não conseguir sustentar a pressão adequada para as linhas de ar ($7,0 \text{ kgf/cm}^2$ para as linhas de ar de processo e de instrumentação e $6,0 \text{ kgf/cm}^2$ para a linha de ar de serviço) com apenas 2 compressores, fato que foi remediado adotando-se a utilização simultânea dos 3 compressores nessas situações.

Gradualmente, houve uma deterioração na situação do sistema, atingindo o ponto que, no presente momento, o sistema passa mais tempo operando com 3 compressores do que com apenas 2. Para situações intermediárias, em que 2 compressores são insuficientes mas 3 compressores já representam um desperdício, um compressor começou a ser utilizado num sistema de modulação, ou seja, ligando e desligando intermitentemente. A modulação dos compressores tem a vantagem de diminuir o consumo de energia elétrica, no entanto, os operadores relatam que aumenta o desgaste dos equipamentos, aumentando a necessidade de manutenção.

Analisando a situação exposta até agora, pode-se concluir que o aumento na utilização dos compressores acarretou um acréscimo no consumo de energia elétrica, aumentando por sua vez os custos totais do processo.

Além disso, os dados disponíveis permitem observar uma tendência de aumento da taxa de utilização da capacidade do sistema de ar comprimido. No caso de manutenção desta tendência, em determinado momento toda a capacidade atual dos compressores não será suficiente para atender a demanda de ar, ocasionando a necessidade de investimentos em novos equipamentos e tubulações.

Por último, os gastos em mão-de-obra para a manutenção dos equipamentos também têm aumentado, tendo possivelmente entre as causas principais a modulação dos compressores.

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

3.2 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

3.2.1 – ESCOPO DO TRABALHO

O escopo do presente trabalho envolve todo o processo de geração, distribuição e consumo de ar comprimido. Nas instalações da fábrica, estão incluídos:

- O Sistema de Compressão de Ar
- Toda a tubulação, válvulas e acessórios utilizados na distribuição de ar de processo, ar de instrumentação e ar de serviço
- Todos os equipamentos e instrumentos que utilizem ar comprimido para sua operação
- Todo o pessoal que opere ar comprimido, tanto rotineiramente quanto ocasionalmente
- Todos os processos que utilizem ar comprimido, tanto rotineiramente quanto eventualmente

3.2.2 – MÉTRICA DE PROCESSO

A variável a ser medida para a avaliação do desempenho do sistema de ar comprimido é a pressão nas tubulações de ar. Para fins de controle e análise do processo, dispõem-se

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

dos dados referentes às leituras de pressão efetuadas pelo P.I. de 5 em 5 minutos, como já foi citado anteriormente.

No entanto, tendo em vista a análise proposta neste trabalho, objetivando a redução do uso dos compressores, a mera consideração dos valores de pressão ao longo do tempo não resultaria em resultados satisfatórios para análise. Isso ocorreria principalmente por três motivos:

1. Os operadores têm influência nos valores observados. O que acontece, na prática, é que eles não permitem que a pressão caia demais – quando verificam uma tendência nesse sentido, ligam o outro compressor, seja em modulação ou na capacidade completa.
2. A medição da pressão de ar não fornece base suficiente para os objetivos deste projeto, mesmo porque o objetivo principal não é controlar os valores de pressão, mas sim reduzir a utilização dos compressores.
3. A pressão de ar é uma variável contínua no tempo. Em função disso, a medição do número de não-conformidades não representaria um número de fácil assimilação, pois dependeria da definição dos intervalos de tempo que seriam considerados para a medição.

Em vista desses fatores, a métrica de processo escolhida foi o tempo de utilização observada de apenas dois compressores, tomando como base a capacidade máxima de utilização do sistema. Assim, a referência passa a ser o fator que realmente importa na determinação do ganho financeiro do projeto.

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

3.2.3 – MÉTRICA FINANCEIRA

A métrica financeira consiste na economia obtida com a redução do consumo de energia elétrica em função da diminuição das horas totais de operação dos compressores, de acordo com a quantidade de energia consumida e o valor pago pela Carbocloro pela energia.

Além disso, serão considerados os valores utilizados na manutenção das máquinas, possivelmente reduzindo os gastos de mão-de-obra e materiais.

3.2.4 – META

Como já foi citado anteriormente, a meta do presente trabalho é levar o sistema a operar novamente com as condições para que foi projetado, ou seja, permanecer 100% do tempo operando com apenas dois compressores de ar, sem deixar de atender às pressões requeridas nas redes consumidoras.

Deste modo, este trabalho persegue o objetivo de reduzir a o mínimo os gastos com a operação e manutenção do sistema de compressão e distribuição de ar.

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

3.3 - MEDIÇÃO

3.3.1 - O SISTEMA DE MEDIÇÃO - P. I.

A Carbocloro conta com ampla instrumentação em suas tubulações, medindo elementos como vazão, pressão e temperatura em diversos pontos do processo. Todos os instrumentos estão interligados ao SDCD, o sistema de controle digital localizada na Célula de Produção. Para atuar como uma interface entre os valores das medições e os engenheiros e operadores, utiliza-se o software P.I. (Process Information).

O P.I. apresenta, em qualquer ponto no tempo, o valor da medição de qualquer um dos instrumentos existentes. A partir daí, pode-se tabular esses valores para serem apresentados em forma de tabelas no Excel ou de gráficos em função do tempo.

Para o sistema de ar comprimido, o P.I. apresenta os valores da medição da corrente elétrica em cada um dos três compressores, o que indica se eles estão ligados, e os valores de pressão do ar no início das linhas de ar de instrumento e de ar de processo. Apenas no caso do ar de serviço não existe medição eletrônica de pressão interligada ao SDCD, sendo a medição efetuada pelos operadores do sistema de ar comprimido que trabalham nos turnos, consistindo em 3 anotações diárias dos valores de pressão (às 2:00h, às 10:00h e às 18:00h).

O autor do presente trabalho foi responsável por atualizar os arquivos eletrônicos com os registros das medições dos valores de pressão, tanto os retirados do P.I. (caso em que são registrados os valores de 5 em 5 minutos) quanto os registrados nos relatórios de turno.

A seguir está representado um exemplo de tela de saída do P.I., em que podem ser vistos os valores da corrente nos três compressores (representados pelas linhas vermelha, azul e

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

preta) e de pressão de ar de processo e instrumento (representados, respectivamente, pelas linhas rosa e verde).

Nesse exemplo, pode-se notar a partir do gráfico que em praticamente todo o tempo observado foram utilizados os três compressores simultaneamente, pois em um período muito curto um dos valores de corrente caíram a zero, representando um compressor desligado.

Além disso, observa-se também que os três compressores foram, alternadamente, submetidos ao sistema de trabalho em modulação em 50%, ou seja, não ficaram ligando e desligando, mas alterando intermitentemente entre a operação em potência máxima e metade desta.

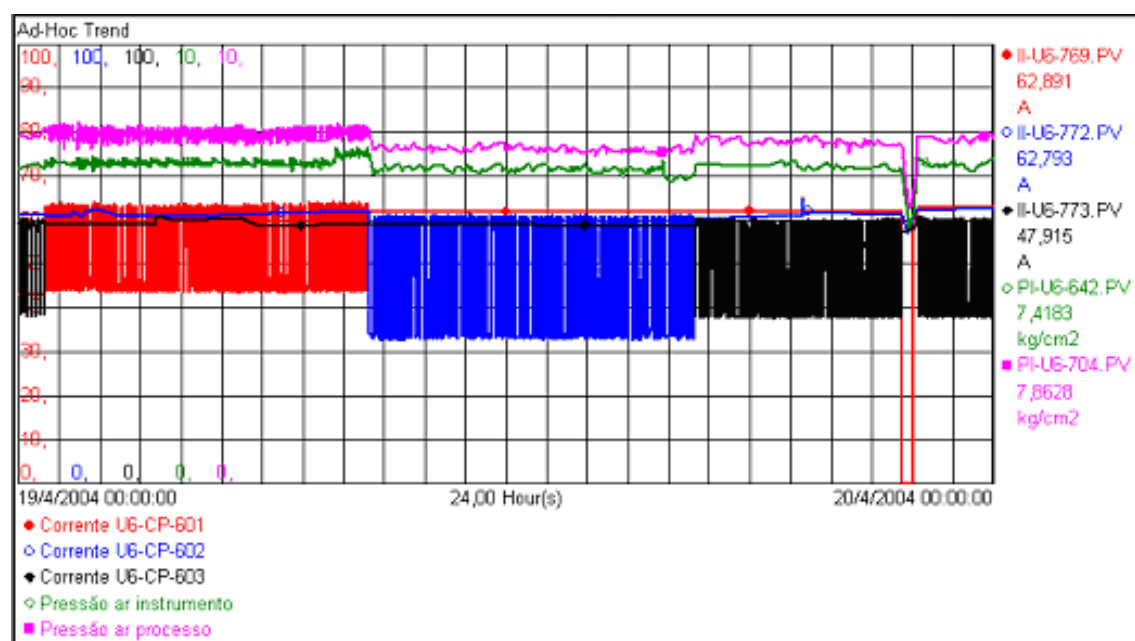


Figura 3.2 - Exemplo de gráfico visualizado no P.I.

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

Horário	CP 601 ILUG.768.PV [A]	CP 602 ILUG.772.PV [A]	CP 603 ILUG.773.PV [A]	AR INSTRUMENTO PLUG.642.PV [kg/cm2]	AR PROCESSO PLUG.701.PV [kg/cm2]	AR SERVIÇO [kg/cm2]	3 CPS
5250	59.60044085	59.62946832	59.65568009	6.573070251	6.720866234		FALSE
5251	59.72481886	59.75295975	59.78052107	6.583539486	6.737832275		FALSE
5252	59.75712348	59.78457071	59.81157525	6.593589244	6.750369185		FALSE
5253	59.78979723	59.81699341	59.84352298	6.603477479	6.760864350		FALSE
5254	59.82222592	59.84845734	59.87402604	6.613446710	6.769857440		FALSE
5255	59.85466674	59.88005526	59.90502723	6.623445547	6.777810751		FALSE
5256	59.88712485	59.91254519	59.93694750	6.633438181	6.785706495		FALSE
5257	59.91958018	59.94495981	59.96982723	6.643425446	6.792530350		FALSE
5258	59.9520304	59.97840525	59.10004525	6.653407304	6.800544662		FALSE
5259	59.98448081	59.10089270	59.05053607	6.663382480	6.808579865		FALSE
5260	60.01693263	59.07944937	59.05810745	6.673358142	6.816600260		FALSE
5261	60.04938326	59.10194682	59.05818162	6.683323007	6.824621795		FALSE
5262	60.08183387	59.12444425	59.05825594	6.693298181	6.832643030		FALSE
5263	60.11428448	59.14694169	59.05832943	6.703273353	6.840664265		FALSE
5264	60.14673509	59.16943912	59.05840298	6.713248526	6.848685500		FALSE
5265	60.17918570	59.19193655	59.05847653	6.723223699	6.856706735		FALSE
5266	60.21163631	59.21443398	59.05855008	6.733198872	6.864727970		FALSE
5267	60.24408692	59.23693141	59.05862363	6.743174045	6.872749205		FALSE
5268	60.27653753	59.25942884	59.05869718	6.753149218	6.880770440		FALSE
5269	60.30898814	59.28192627	59.05877073	6.763124391	6.888791675		FALSE
5270	60.34143875	59.30442370	59.05884428	6.773099564	6.896812910		FALSE
5271	60.37388936	59.32692113	59.05891783	6.783074737	6.904834145		FALSE
5272	60.40633997	59.34941856	59.05899138	6.793049910	6.912855380		FALSE
5273	60.43879058	59.37191599	59.05906493	6.803025083	6.920876615		FALSE
5274	60.47124119	59.39441342	59.05913848	6.813000256	6.928897850		FALSE
5275	60.50369180	59.41691085	59.05921203	6.822975429	6.936919085		FALSE
5276	60.53614241	59.43940828	59.05928558	6.832950602	6.944940320		FALSE
5277	60.56859302	59.46190571	59.05935913	6.842925775	6.952961555		FALSE
5278	60.60104363	59.48440314	59.05943268	6.852900948	6.960982790		FALSE
5279	60.63349424	59.50690057	59.05950623	6.862876121	6.969004025		FALSE
5280	60.66594485	59.52939800	59.05957978	6.872851294	6.977025260		FALSE
5281	60.69839546	59.55189543	59.05965333	6.882826467	6.985046495		FALSE
5282	60.73084607	59.57439286	59.05972688	6.892801640	6.993067730		FALSE
5283	60.76329668	59.59689029	59.05980043	6.902776813	7.001088965		FALSE
5284	60.79574729	59.61938772	59.05987398	6.912751986	7.009110200		FALSE
5285	60.82819790	59.64188515	59.05994753	6.922727159	7.017131435		FALSE
5286	60.86064851	59.66438258	59.06002108	6.932702332	7.025152670		FALSE
5287	60.89309912	59.68688001	59.06009463	6.942677505	7.033173905		FALSE
5288	60.92554973	59.70937744	59.06016818	6.952652678	7.041195140		FALSE
5289	60.95799934	59.73187487	59.06024173	6.962627851	7.049216375		FALSE
5290	60.99044995	59.75437230	59.06031528	6.972603024	7.057237610		FALSE
MEDIA	59.6	16.6	47.6	6.66	6.68	5.24	
TOTAL DE HORAS NO MES		744					
TOTAL DE HORAS COM 2 CPS		440					
% DO TEMPO COM 2 CPS		59.2					

Figura 3.3 - Exemplo de tabela do Excel criada pelo P.I.

3.3.2 – EFICIÊNCIA INICIAL DO SISTEMA

Durante o primeiro mês do trabalho (período de 20 de abril a 19 de maio), foi efetuada uma análise dos valores de pressão nas linhas e corrente nos compressores, de modo a avaliar a eficiência inicial do sistema. Chegou-se então aos seguintes valores:

- Total de horas de operação do sistema no período: **744h**
- Total de horas de operação com apenas 2 compressores: **181,8h**

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

- Porcentagem do tempo de operação com 2 compressores: **24,4%**

3.3.3 – OS TESTES NOS COMPRESSORES DE AR

Para avaliar as condições em que os compressores estavam atuando no início do trabalho, foram efetuados testes, variando os compressores utilizados num momento de baixa utilização do sistema de ar comprimido.

PARÂMETRO	1° TESTE		2° TESTE		3° TESTE	
	AR PROC CP 601	AR INST CP 603	AR PROC CP 601	AR INST CP 602	AR PROC CP 603	AR INST CP 602
Pressão Desc 1° Estágio	2	1,8	2	2,6	1,8	2,6
Pressão Desc. 2° Estágio	9	7,4	9	6,8	8	6,8
Pressão Tanque	8,1	7,3	8	6,5	7,9	6,5
Pressão Rede (PT)	7,5	6,5	7,5	6	7,3	6,1
Pressão Ar Serviço (PI)	6,8		6,8		6,8	
Pressões em kgf/cm²						

Tabela 3.1: Resultados observados nos testes dos compressores

Principais conclusões do teste efetuado:

? Ar de Processo / Serviço - No momento observado tanto faz usar o CP-601 ou o CP-603, pois eles apresentam aproximadamente a mesma pressão na rede.

? Ar de Instrumento - O CP-602 tem menor eficiência que o CP-603 (0,5 Kgf/cm² a menos de pressão na rede). Os valores indicados em vermelho na tabela significam que o compressor CP-602 não conseguiu atingir a pressão ideal de ar de instrumento nem na

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

medição logo após o segundo estágio de compressão (sendo que ainda ocorrem perdas no sistema depois desse estágio).

? A rede de ar de instrumento é a mais crítica das três, pois quando do fechamento da interligação não se conseguiu em nenhum dos testes garantir a pressão ideal de operação (7,0 Kgf/cm²).

? Ocorre uma perda de pressão muito alta entre a descarga do 2º estágio do CP-601 até o tanque de ar de processo (0,9 Kgf/cm² em um teste e 1,0 Kgf/cm² em outro, enquanto para os outros dois compressores a perda máxima para esse trecho foi de 0,3 Kgf/cm²).

3.4 – ANÁLISE DO PROBLEMA

3.4.1 – PRINCIPAIS ENVOLVIDOS NO PROCESSO

Como primeiro passo efetuado na análise do problema, buscou-se encontrar todos os principais envolvidos com ar comprimido na unidade fabril. Para isso, foi elaborado um diagrama FEPSC, em que estão representados os principais fornecedores, entradas, processos, saídas e clientes do sistema de ar comprimido.

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

Fornecedor	Entrada	PROCESSO	Saída	Cliente
REDE DE ENERGIA ELÉTRICA	ENERGIA ELÉTRICA (MOTOR DO COMPRESSOR E AQUECEDOR DE AR PARA REGENERAÇÃO LETTO SÍLICA)	FILTRAÇÃO		
U4-TO-701	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	COMPRESSÃO 1º EST.	ÁGUA DE RESFRIAMENTO (RETORNO)	U4-TO-701
CEF (MANUTENÇÃO)	SÍLICA GEL, ELEMENTOS FILTRANTES, VALVULAS, ANEIS, JUNTAS, CABEÇOTE	RESFRIAMENTO INTERMEDIÁRIO E REMOÇÃO DE CONDENSADO	CONDENSADO	GALERIA PLUVIAL
ATMOSFERA	AR ATMOSFÉRICO	COMPRESSÃO 2º EST.	AR COMPRIMIDO PARA A REDE DE AR DE SERVIÇO	ÁREAS CONSUMIDORAS
COMPRESSÃO DE AR	AR COMPRIMIDO (REGENERAÇÃO DO LETTO DE SÍLICA, ATUAÇÃO DE INSTRUMENTOS)	RESFRIAMENTO FINAL E REMOÇÃO DE CONDENSADO	AR COMPRIMIDO PARA A REDE DE AR DE PROCESSO	ÁREAS CONSUMIDORAS
		DISTRIBUIÇÃO AR SERVIÇO	AR COMPRIMIDO PARA A REDE DE AR DE INSTRUMENTO	ÁREAS CONSUMIDORAS
		FILTRAÇÃO	SÍLICA GEL USADA, PEÇAS DESGASTADAS	DESCARTE
		SECAGEM E REGENERAÇÃO DO LETTO DE SÍLICA		
		FILTRAÇÃO		
		DISTRIBUIÇÃO AR		

Figura 3.4: Diagrama FEPSC (elaborada pelo autor)

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

3.4.2 – UTILIZAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE AR

Para entender melhor a distribuição de ar, foi efetuado um mapeamento das utilizações de cada tipo de ar nas diversas áreas da fábrica. Como resultado, chegou-se à quantidade de ar utilizada usualmente em cada um dos processos.

A seguir estão listadas as principais utilizações de ar de instrumento:

- Controladores: são um total de 98, utilizando cerca de 51,0 Nm³/h (normal metros cúbicos por hora)
- Transmissores: em um total de 126, utilizam cerca de 65,5 Nm³/h
- Válvulas on-off: são um total de 372, utilizando cerca de 394,3 Nm³/h
- Válvulas controladoras: em um total de 194, utilizam aproximadamente 244,4 Nm³/h
- Painéis DPA: em um total de 60, utilizam por volta de 233,5 Nm³/h para sua pressurização
- Painéis de campo: consomem cerca de 159,6 Nm³/h para sua pressurização
- Painéis de água gelada: utilizam cerca de 9,6 Nm³/h em sua pressurização
- Nível por borbulhamento : consome cerca de 8,1 Nm³/h
- Agitação do tanque de soda cáustica: consome cerca de 100,0 Nm³/h
- Ensacadeira da Unidade Bertrams: para o ensacamento de soda cáustica em escamas, utiliza cerca de 385,0 Nm³/h

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

Deste modo, o total de utilização de ar de instrumentação chega a aproximadamente 1651 Nm³/h

Agora estão listadas as utilizações de ar de processo observadas:

- Bombas de soda cáustica: são um total de três bombas, utilizando juntas aproximadamente 237,4 Nm³/h
- Compressores de cloro: em um total de três, utilizam juntos cerca de 210 Nm³/h
- Selos das bombas de cloro: utilizam aproximadamente 41,0 Nm³/h
- Carregamento de carretas / cilindros: consome por volta de 98,2 Nm³/h
- Regeneração dos secadores: consome aproximadamente 200,0 Nm³/h
- Bombas pneumáticas da Unidade de Hipoclorito de Sódio Contínuo: em um total de 6, utilizam aproximadamente 64,0 Nm³/h
- Filtro Oberlin da Unidade de Hipoclorito de Sódio Contínuo: com suas 2 bombas pneumáticas correspondentes, utiliza por volta de 64,0 Nm³/h
- Separador da Unidade de Hipoclorito de Sódio Contínuo: consome cerca de 64,0 Nm³/h
- Filtros funda: consomem um total de 1.100 Nm³/h
- Filtros prensa: consomem um total de 600,0 Nm³/h
- Agitação dos tanques da ETE (Estação de Tratamento de Efluentes): utiliza por volta de 120,0 Nm³/h

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

Considerando essas utilizações listadas acima, o total de utilização de ar de processo chega a aproximadamente 955 Nm³/h

Por último, estão listadas as utilizações rotineiras de ar de serviço observadas:

- Neutralização: consome cerca de 140 Nm³/h
- Escamadores da Bertrams (unidade de soda cáustica): utilizam por volta de 70 Nm³/h
- Bombas pneumáticas: consomem aproximadamente 140 Nm³/h
- Tanques da Unidade de Hipoclorito Contínuo: utilizam por volta de 32 Nm³/h
- Ferramentas pneumáticas: consomem aproximadamente 50 Nm³/h
- Marteleto pneumático: utiliza cerca de 160 Nm³/h
- Estações de serviço: em um total de 40, utilizam aproximadamente 408 Nm³/h

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

	REAL	PROJETO	DEFICIÊNCIA
AR DE INSTRUMENTO	1651	1500	-151
AR DE PROCESSO	1745	1500	-245
AR DE SERVIÇO			
TOTAL	3396	3000	Nm3/h

Tabela 3.2: Utilização máxima de projeto dos sistemas em relação à capacidade (elaborada pelo autor)

3.4.2 – POSSÍVEIS CAUSAS

Para a determinação das possíveis causas de problemas com o sistema de ar comprimido, em reuniões incluindo o autor deste trabalho, o black belt orientador do projeto, os 2 engenheiros de processos responsáveis pela área de ar comprimido, o líder da área e um operador do sistema de ar.

A partir das causas levantadas pelo grupo descrito acima, foi elaborado um diagrama de Ishikawa para permitir melhor visualização:

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

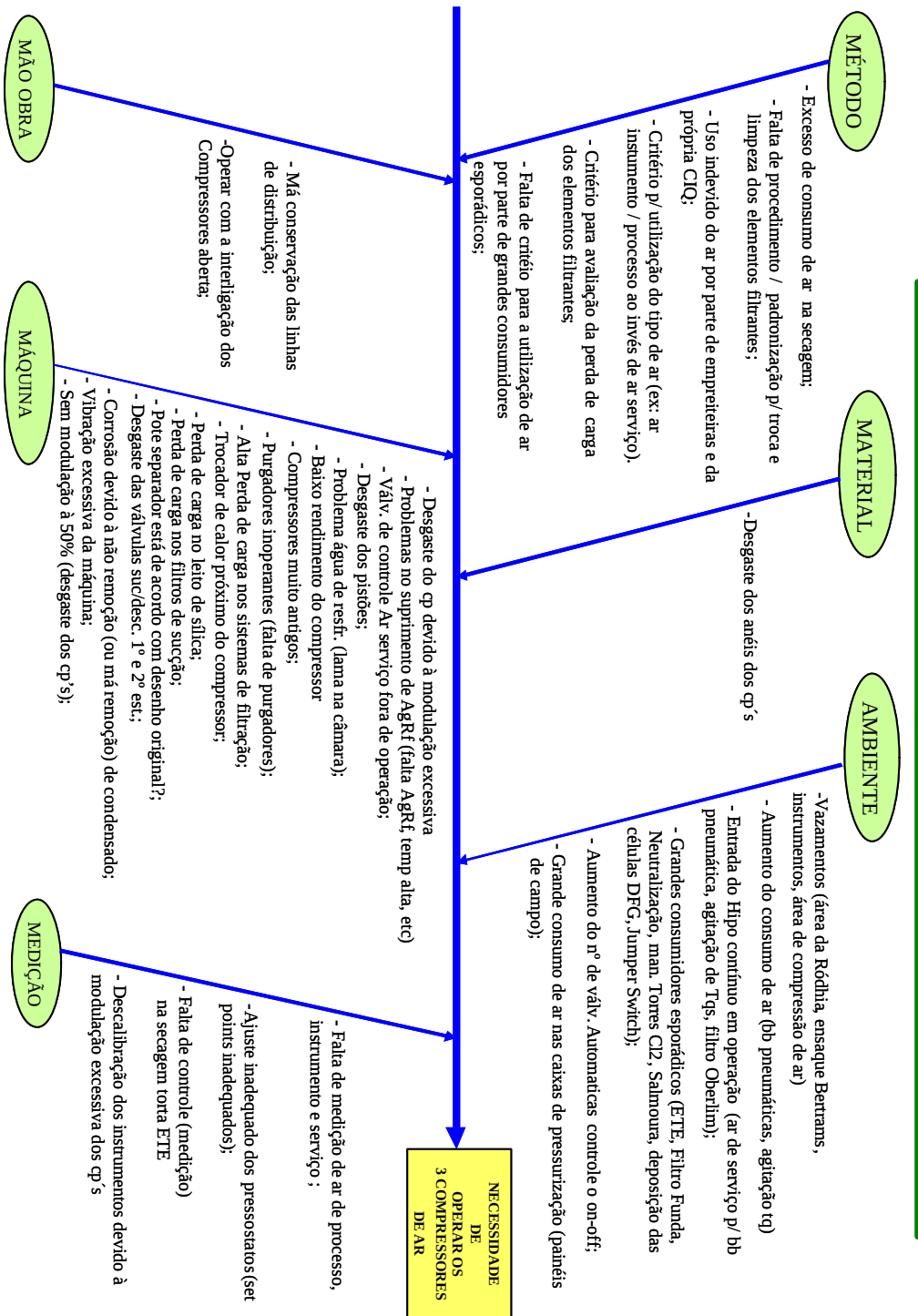


Figura 3.5: Diagrama Ishikawa - Parte 1

Capítulo 3 – Situação Inicial do Sistema

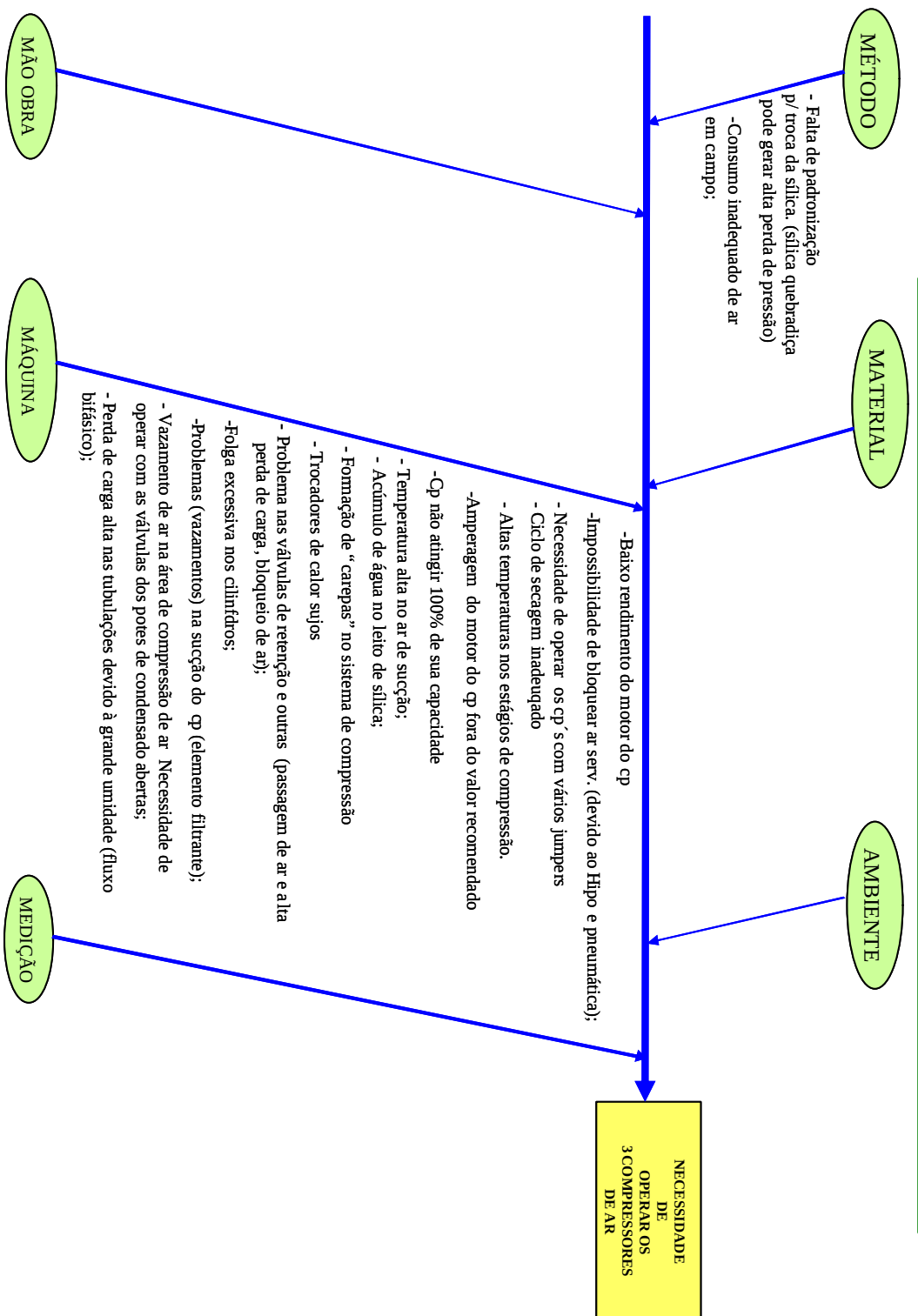


Figura 3.6: Diagrama Ishikawa - Parte 2

CAPÍTULO 4 – MODIFICAÇÕES NO PROCESSO

Capítulo 4 – Modificações no Processo

4.1 – ANÁLISE DOS PONTOS A SEREM MELHORADOS

4.1.1 – MÃO-DE-OBRA

4.1.1.1 – Má conservação das linhas de distribuição

O fato de parte das linhas de distribuição de ar comprimido estar em um estado ruim de conservação pode ocasionar perda de pressão nas tubulações, ocasionando a necessidade de se ligar um terceiro compressor.

4.1.1.2 – Operar com a interligação dos compressores aberta

Operando com essa interligação aberta, pode estar ocorrendo perda de pressão na rede.

4.1.1.3 – Operar com a interligação dos compressores (após secagem) aberta

Operando com essa interligação aberta, pode estar ocorrendo perda de pressão na rede.

4.1.2 – MATERIAIS

4.1.2.1 – Desgaste dos anéis dos compressores

Os atuais anéis metálicos dos compressores ocasionam desgaste excessivo, sendo possível sua substituição por anéis de teflon, mais baratos, descartáveis e de mais fácil manutenção.

Capítulo 4 – Modificações no Processo

4.1.3 – MÉTODOS

4.1.3.1 – Excesso de consumo de ar no sistema de secagem da sílica

Pode estar sendo utilizado maior vazão de ar que a necessária para a regeneração no sistema de secagem da sílica.

4.1.3.2 – Falta de procedimento ou padronização para troca e limpeza dos elementos filtrantes

Devido à falta de um procedimento para a limpeza de filtros, muitas vezes acaba sendo consumido mais ar do que o necessário para operações de limpeza.

4.1.3.3 – Uso indevido do ar por parte de empreiteiras

Em algumas ocasiões empreiteira contratadas tem acesso a fonte de ar comprimido e a utiliza sem o devido cuidado em economizar.

4.1.3.4 – Critério para utilização do tipo de ar (ar instrumento / processo ao invés de ar serviço)

Em alguns casos pode-se estar utilizando ar de processo ou de instrumento em situações em que o ar de serviço já bastava.

4.1.3.5 – Falta de critério para utilização de ar por parte de grandes consumidores esporádicos

Quando os consumos esporádicos acontecem todos ao mesmo tempo, ocorrem picos de demanda que obrigam à utilização simultânea dos três compressores

Capítulo 4 – Modificações no Processo

4.1.3.6 – Falta de padronização para troca da sílica (sílica quebradiça pode gerar alta perda de pressão)

A falta de padronização para troca pode gerar sílica quebradiça, o que ocasionaria alta perda de pressão.

4.1.3.7 – Ciclo de secagem de ar inadequado

Se o ciclo de secagem de ar estiver muito longo, estará ocorrendo um desperdício de energia no sistema de secagem.

4.1.4 – AMBIENTE

4.1.4.1 – Vazamentos (área da Rhodia, ensaque da Bertrams, instrumentos, área de compressão ar)

Os vazamentos nas linhas, além de provocarem perda de pressão, são um caso de segurança no processo, pois um eventual rompimento poderia significar parada em alguns processos.

4.1.4.2 – Entrada da unidade de Hipoclorito de Sódio Contínuo em operação (ar de serviço para bombas pneumática, agitação de tanques, Filtro Oberlim)

Com a entrada em operação da nova linha, aumentou o consumo de ar comprimido.

4.1.4.3 – Grandes consumidores esporádicos (ETE, Filtro Funda, Neutralização, manutenção das Torres de Cloro, Salmoura, deposição das células Diafragma).

Alguns consumidores esporádicos tem o consumo de ar tão alto que dificilmente se conseguiria manter o sistema utilizando apenas 2 compressores.

Capítulo 4 – Modificações no Processo

4.1.4.4 – Novos consumidores (aumento do número de válvulas de controle, painéis de pressurização de campo, bombas pneumáticas, agitação de tanques)

Com o crescimento da automação na fábrica, a nova instrumentação demanda uma quantidade maior de ar de instrumento.

4.1.5 – MEDIÇÃO

4.1.5.1 – Falta de medição de ar de processo, instrumento e serviço

A falta de uma medição mais ampla nas linhas dificulta uma análise mais apurada acerca da eficiência na utilização de ar.

4.1.5.2 – Ajuste inadequado dos pressostatos (*set points* inadequados)

Se os *set points* estão inadequados, os instrumentos podem acabar consumindo mais ar do que o necessário.

4.1.5.3 – Falta de controle (medição) na secagem da torta da Estação de Tratamento de Efluentes

Uma vez que não há instrumentação para medição da quantidade de ar utilizada na secagem da torta da Estação de Tratamento de Efluentes, pode estar sendo utilizado mais ar do que o necessário.

4.1.5.4 – Descalibração dos instrumentos devido à modulação excessiva dos compressores

Com um excesso na utilização dos compressores em modulação, pode ocorrer a descalibração dos instrumentos de medição.

Capítulo 4 – Modificações no Processo

4.1.6 – MÁQUINAS

4.1.6.1 – Válvulas de controle de ar de serviço fora de operação

Com válvulas de controle das linhas de ar de serviço fora de operação, pode estar havendo desperdício desse tipo de ar

4.1.6.2 – Desgaste dos pistões

Com os pistões desgastados, a eficiência dos compressores de ar fica reduzida.

4.1.6.3 – Problema de água de resfriamento

Problemas com a água de resfriamento podem ocasionar lama nos compressores de ar, reduzindo sua eficiência

4.1.6.4 – Baixo rendimento do compressor e motor

Os compressores estão apresentando um rendimento abaixo do previsto em projeto.

4.1.6.5 – Compressores muito antigos

O fato dos compressores de ar serem antigos pode significar que há atualmente modelos mais eficientes.

4.1.6.6 – Vibração excessiva da máquina

A vibração excessiva dos compressores de ar pode estar causando queda no rendimento.

4.1.6.7 – Purgadores inoperantes

Se há falta de purgadores, pode haver acúmulo de água no leito da sílica, aumentando o consumo de ar.

Capítulo 4 – Modificações no Processo

4.1.6.8 – Alta perda de carga nos filtros de ar e nos leitos de sílica

A perda de carga nos filtros de ar e nos leitos de sílica está acima do normal.

4.1.6.9 – Trocador de calor próximo ao compressor

A diferença de temperatura pode ocasionar perda de rendimento em ambos os equipamentos

4.1.6.10 – Pote separador de condensado inadequado

O pote separados de condensado não está de acordo com o desenho original.

4.1.6.11 – Desgaste excessivo das válvulas de sucção / descarga do 1º e 2º estágios

As válvulas de sucção e de descarga do primeiro e segundo estágios de compressão estão apresentando desgaste excessivo.

4.1.6.12 – Corrosão das tubulações devido à não remoção (ou má remoção) de condensado.

A negligência na remoção de condensado pode estar ocasionando corrosão nas tubulações e formação de carepas (acúmulo de material na parte interior dos tubos.

4.1.6.13 – Sem modulação a 50%

A modulação dos compressores apenas em 100% está ocasionando desgaste excessivo dos compressores.

4.1.6.14 – Desgaste dos compressores devido à modulação excessiva

Uma vez que os compressores estão sendo utilizados boa parte do tempo em regime de modulação, o desgaste dos equipamentos aumenta significativamente.

Capítulo 4 –Modificações no Processo

4.1.6.15– Problemas no suprimento de água de resfriamento

Na ocorrência de problemas no suprimento de água de resfriamento, como falta de água ou temperatura elevada, o rendimento dos trocadores de calor e, conseqüentemente, dos compressores de ar, é prejudicado.

4.1.6.16 – Necessidade de operar os compressores com vários jumpers (temperaturas, pressões)

A necessidade de se operar os compressores com vários jumpers leva a um aumento no consumo de ar.

4.1.6.17 – Altas temperaturas nos estágios de compressão

Os dois estágios de compressão estão apresentando temperatura superior à de projeto, o que pode estar ocasionando perda de rendimento no processo de compressão e pressões mais baixas.

4.1.6.18 – Amperagem acima ou abaixo do recomendado

Com a amperagem fora do ideal, os compressores operam em uma situação sub-ótima, podendo aumentar o consumo de energia elétrica.

4.1.6.19 – Compressor não atingir 100% de sua capacidade (lembrar da amperagem de projeto)

O compressor CP-602 não está atingindo a sua capacidade inicial de projeto.

4.1.6.20 – Temperatura alta no ar de sucção

Uma temperatura alta no ar de sucção aumenta o consumo de energia necessária na compressão

Capítulo 4 – Modificações no Processo

4.1.6.21 – Alta perda de carga devido à formação de carepas

As carepas entopem filtros e danificam válvulas, provocando alta perda de carga no processo.

4.1.6.22 – Trocadores de calor sujos

A deficiência na limpeza dos trocadores de calor ocasiona alta perda de carga.

4.1.6.23 – Problemas nas válvulas de retenção e outras

Algumas válvulas estão apresentando problemas, ocasionando passagem de ar por válvulas de retenção e aumento na perda de carga

4.1.6.24 – Folga excessiva nos cilindros

Uma folga excessiva nos cilindros de ar está diminuindo a eficiência do sistema.

4.1.6.25 – Problemas na sucção dos compressores

Estão ocorrendo vazamentos na sucção dos compressores, possivelmente por problemas no elemento filtrante.

4.1.6.26 – Vazamentos de ar na área de compressão de ar

Vazamentos de ar na área de compressão estão obrigando a operação com as válvulas dos potes de condensado abertas.

4.1.6.27 – Perda de carga alta nas tubulações devido à grande umidade (fluxo bifásico)

A alta umidade nas tubulações de ar pode estar ocasionando alta perda de carga.

Capítulo 4 – Modificações no Processo

4.1.6.28 – Impossibilidade de bloquear ar de serviço

Devido à Unidade de Hipoclorito de Sódio e às bombas pneumáticas, não se pode bloquear o ar de serviço.

4.2 – ANÁLISE DOS PROBLEMAS DETECTADOS

Uma vez estabelecidas as possíveis causas de problemas, foram feitas novas reuniões entre o autor deste trabalho, o black belt orientador do projeto e os 2 engenheiros de processos responsáveis pela área de ar comprimido para que fossem estabelecidos critérios e dadas notas para cada um dos problemas encontrados, de modo que se pudesse elaborar uma matriz de causa e efeito dos problemas.

Matriz de Causa e Efeito							
PROBLEMA	Impacto no problema	Freq. de Ocorrência	Índice de detecção	TOTAL	Custo de Implantação	Tempo de Implantação	TOTAL GERAL
	muito baixo 1	muito baixa 1	muito alto 1		muito alto 1	muito alto 1	
	muito alto 5	muito alta 5	muito baixo 5		muito baixo 5	muito baixo 5	
1.1	4,3	4,3	3,3	3,8	3	3	3,3
1.2	4	5	1,7	4,1	5	3	4
1.3	3,7	3,7	1,7	3,6	5	5	4,5
2.1	4	3,3	3,7	3,3	4	4	3,8
3.1	3,7	4	3	3,6	3	3	3,2
3.2	4	4	2,7	3,9	4	4	4
3.3	4,7	4,3	4,3	4,7	3	4	3,9
3.4	4	3,3	2,3	3,9	3	4	3,6
3.5	4,3	4,7	2,3	4,3	3	4	3,8

Capítulo 4 – Modificações no Processo

3.6	3,7	3,3	1,7	3,3	3	3	3,1
3.7	3,3	3	3	3,1	3	3	3
4.1	5	4,7	3,7	4,9	3	4	4
4.2	4,3	4,7	2,3	2,9	2	2	2,3
4.3	4,7	4,3	2,3	2,6	3	2	2,5
4.4	5	4,7	2,7	2,9	2	2	2,3
5.1	4,3	5	2,7	4,2	3	3	3,4
5.2	3,3	4,7	3,7	4,2	4	4	4,1
5.3	4,3	4,7	3,7	4,2	3	4	3,7
5.4	4	4,3	2,7	4,2	3	3	3,4
6.1	3,7	4,7	2,3	3	2	3	2,7
6.2	4	3,3	3,7	3,3	2	3	2,8
6.3	3,7	4	4	3,8	3	3	3,3
6.4	4,3	4	2,7	3,3	2	4	3,1
6.5	3,7	4	2,3	2,8	1	1	1,6
6.6	3	4,3	2	2,9	3	2	2,6
6.7	3,7	4,7	2	3,1	4	4	3,7
6.8	4	3	3	3,1	3	3	3
6.9	2	3	2,7	3	1	1	1,7
6.10	2,7	2,7	2,7	3,2	3	3	3,1
6.11	4	4,3	2,7	3,1	2	3	2,7
6.12	4	4,3	3	3,8	3	4	3,6
6.13	3,7	3,3	1,7	3,3	4	3	3,4
6.14	4	4	2	3,4	3	3	3,1
6.15	3	3,7	2,3	3,7	3	3	3,2
6.16	2,3	2,3	1,3	2	2	3	2,3
6.17	3,3	4,7	2,3	2,4	3	3	2,8
6.18	4	4	1,7	3,1	3	2	2,7
6.19	4,3	4	1,7	3,8	2	2	2,6
6.20	2,7	3,3	1,3	2,8	1	1	1,6
6.21	4,3	4,7	2,3	3,7	3	4	3,6
6.22	3,7	4,3	2,3	3,8	4	4	3,9
6.23	4,3	3,3	2,3	3,6	3	3	3,2
6.24	3,7	4,3	2,7	3,8	3	3	3,3
6.25	3,7	3,3	1,7	3,1	2	4	3
6.26	4	4	1,7	3,4	2	3	2,8
6.27	3	2,7	3	3	3	3	3
6.28	4	4	2,3	3,7	3	2	2,9

Tabela 4.1: Matriz de Causa e efeito (elaborada pelo autor)

Capítulo 4 – Modificações no Processo

A partir dos valores encontrados na matriz acima, foi possível organizar os problemas em ordem de importância, para que se pudessem analisar os principais e propor possíveis soluções.

Classificação dos Problemas	
1.3 Operar com a interligação dos compressores (após secagem) aberta	4,5
5.2 Ajuste inadequado dos pressostatos (set points inadequados)	4,1
1.2 Operar com a interligação dos compressores aberta	4
3.2 Falta de procedimento / padronização para troca e limpeza dos elementos filtrantes	4
4.1 Vazamentos (área da Rhodia, ensaque da Bertrams, instrumentos, área de compressão de ar)	4
6.22 Trocadores de calor sujos	3,9
3.3 Uso indevido do ar por parte de empreiteiras	3,9
2.1 Desgaste dos anéis dos compressores	3,8
3.5 Falta de critério para utilização de ar por parte de grandes consumidores esporádicos	3,8
5.3 Falta de controle (medição) na secagem torta ETE	3,7
6.7 Purgadores inoperantes (falta de purgadores - acúmulo de água no leito da sílica)	3,7
3.4 Critério para utilização do tipo de ar (ex: ar instrumento / processo ao invés de ar serviço)	3,6
6.12 Corrosão das tubulações devido à não remoção (ou má remoção) de condensado.	3,6
6.21 Alta perda de carga devido à formação de carepas	3,6
6.13 Sem modulação a 50% (desgaste dos compressores)	3,4

Capítulo 4 – Modificações no Processo

5.1 Falta de medição de ar de processo, instrumento e serviço	3,4
5.4 Descalibração dos instrumentos devido à modulação excessiva dos cp's	3,4
6.3 Problema de água de resfriamento	3,3
6.24 Folga excessiva nos cilindros	3,3
1.1 Má conservação das linhas de distribuição	3,3

Tabela 4.2: Classificação dos problemas mais importantes (elaborada pelo autor)

4.3 – AÇÕES DE MELHORIA PROPOSTAS

Após a definição dos problemas a serem abordados, foi elaborado um plano de ações a serem implementadas de modo a se alcançar a melhoria do processo. As ações referentes a cada um dos problemas estão representadas no diagrama a seguir, juntamente com o prazo em que foram desenvolvidas.

A proposta de operação com a interligação entre o ar de processo e instrumentação aberta está sinalizada em vermelho porque uma análise de risco efetuada por um grupo de engenheiros de processo decidiu pela não implementação desta ação.

Capítulo 4 – Modificações no Processo

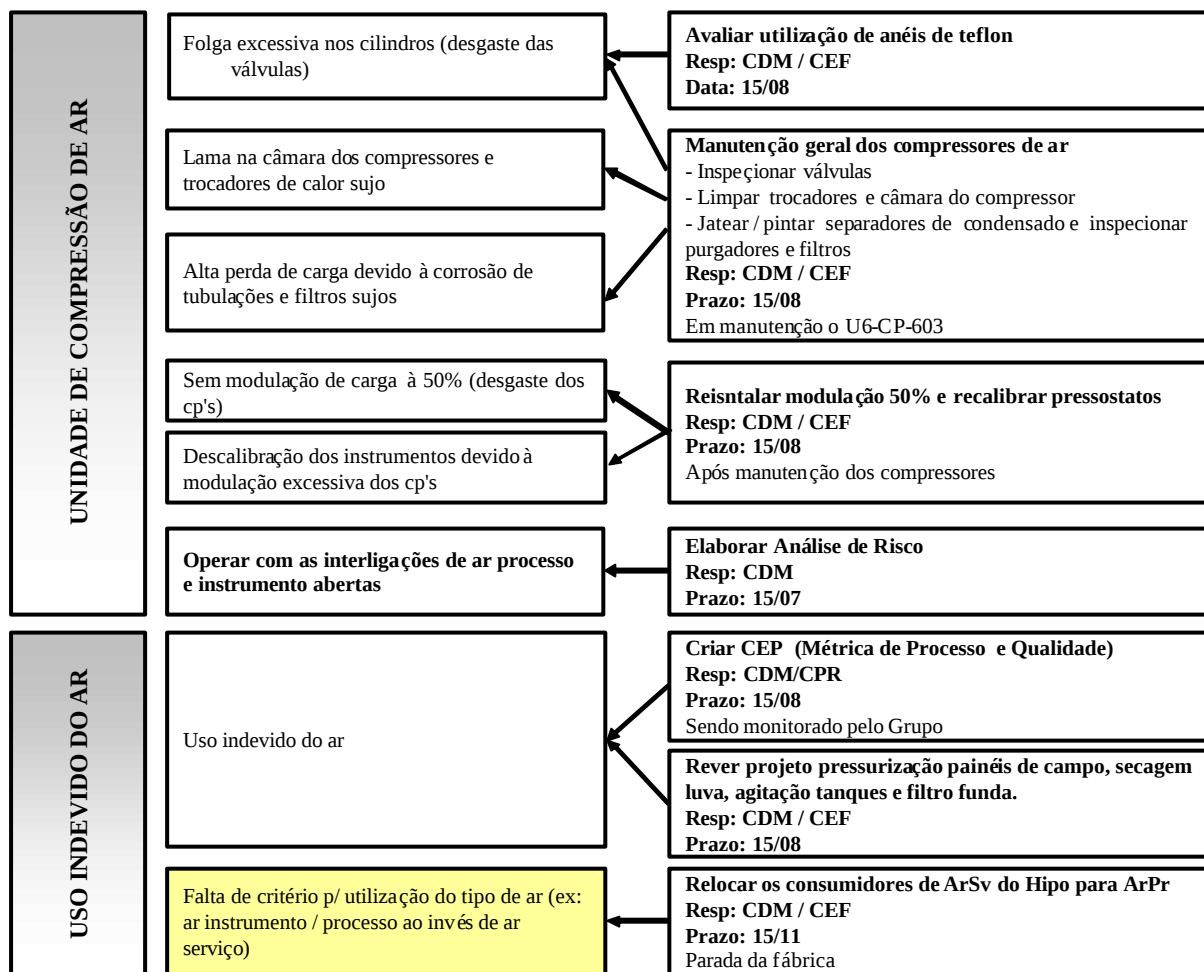


Figura 4.1: Plano de ações - Parte 1 (elaborado pelo autor)

Capítulo 4 – Modificações no Processo

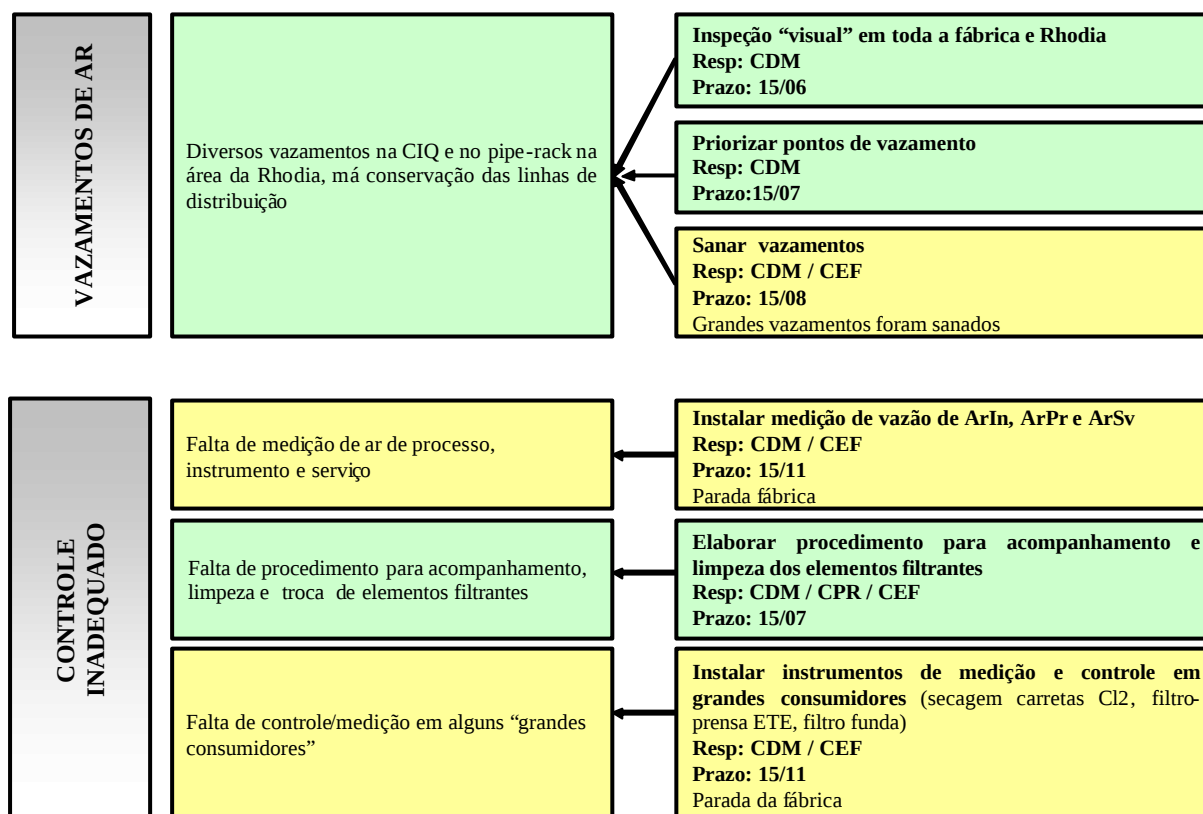


Figura 4.2: Plano de ações - Parte 2 (elaborado pelo autor)

Note-se que algumas das ações propostas foram agendadas para o dia 15 de novembro, por ser a data de uma parada preventiva em toda a fábrica, e portando fornecer condições para a utilização de procedimentos que não seriam possíveis com alinha em operação.

Capítulo 4 – Modificações no Processo

4.4 – RESULTADOS OBTIDOS

Durante e após a implementação das ações descritas no item anterior, continuou sendo feita a medição das condições do sistema de compressão de ar, o que permitiu analisar a eficácia das implementações.

A partir dos resultados observados através do P.I., foi calculada a média mensal da taxa de utilização de apenas dois compressores.

Mês	Porcentagem do Tempo com 2 compressores operando	Meta
MAR/ABR	24,4	100
ABR/MAI	58,2	100
MAI/JUN	59,2	100
JUN/JUL	71,9	100
JUL/AGO	97,3	100
AGO/SET	96,1	100

Tabela 4.3: Tempo de operação com dois compressores (elaborada pelo autor)

Capítulo 4 – Modificações no Processo

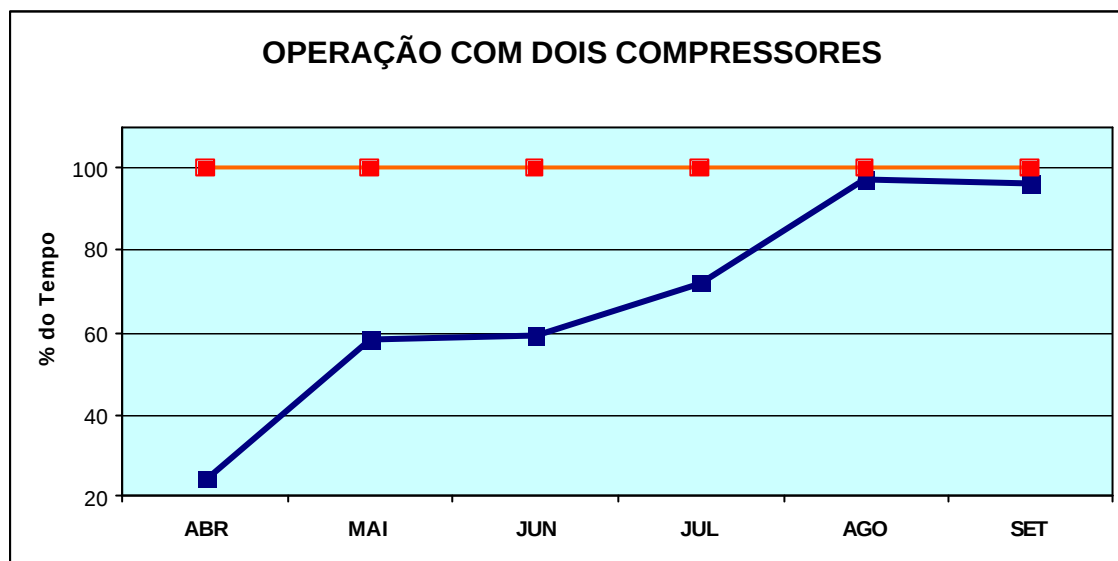


Figura 4.3: Tempo de operação com dois compressores (elaborada pelo autor)

Além disso, foi verificada também a evolução da pressão nas linhas de ar de processo, ar de instrumento e ar de serviço, pois um aumento da taxa de utilização de dois compressores acompanhado de uma diminuição nos valores de pressão não seria uma melhoria real no processo, podendo indicar apenas uma maior tolerância por parte da operação do sistema a pressões baixas.

Capítulo 4 – Modificações no Processo

Mês	Ar Processo	Ar Instrumento	Set Point	Limite Inferior	Período
mar/abr	6,39	6,2	7	6,1	20/03 - 19/04
abr/mai	6,86	6,64	7	6,1	20/04 - 19/05
mai/jun	6,58	6,56	7	6,1	20/05 - 19/06
jun/jul	6,72	6,66	7	6,1	20/06 - 19/07
jul/ago	6,9	6,92	7	6,1	20/07 - 19/08
ago/set	7	7	7	6,1	20/08 - 19/09

Tabela 4.4: Evolução nas pressões de ar de instrumento e de processo com a operação de 2 compressores (elaborada pelo autor)

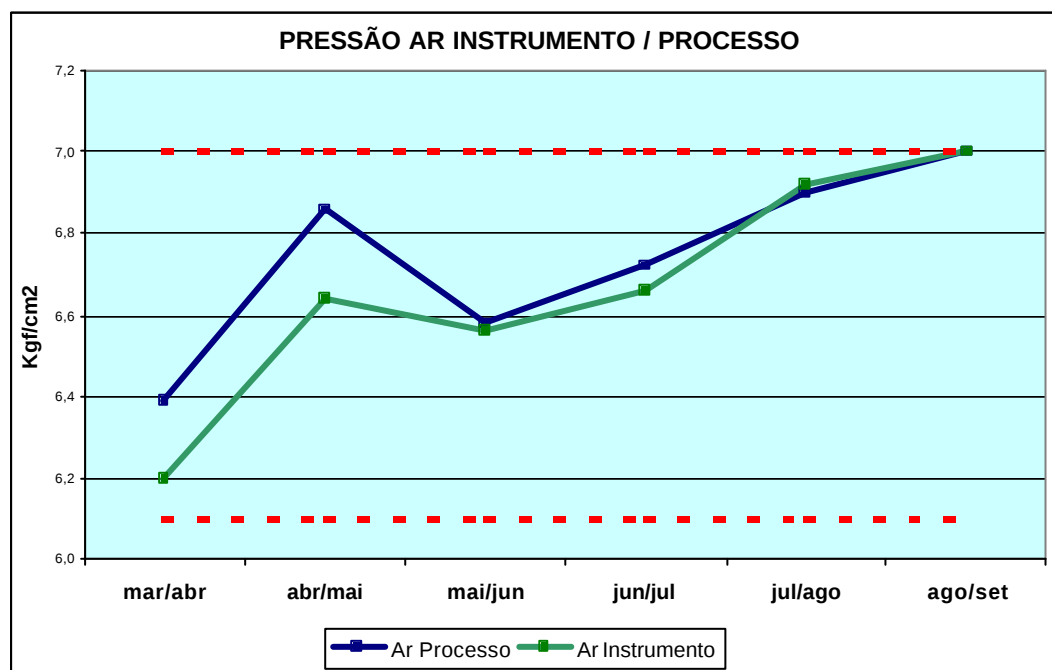


Figura 4.4: Evolução nas pressões de ar de instrumento e de processo com 2 compressores ligados (elaborada pelo autor)

Capítulo 4 – Modificações no Processo

Foi efetuada também a obtenção dos valores de ar de serviço, embora a medição, como já foi mencionado anteriormente, ser manual e contar com bem menos leituras do que as outras duas linhas de ar comprimido.

Mês	Ar Serviço	Set Point	Limite Inferior	Período
mar/abr	5,19	6	5,1	20/03 - 19/04
abr/mai	5,34	6	5,1	20/04 - 19/05
mai/jun	5,24	6	5,1	20/05 - 19/06
jun/jul	5,65	6	5,1	20/06 - 19/07
jul/ago	5,96	6	5,1	20/07 - 19/08
ago/set	6,2	6	5,1	20/08 - 19/09

Tabela 4.5: Evolução na pressão de ar de serviço (elaborada pelo autor)

Capítulo 4 – Modificações no Processo

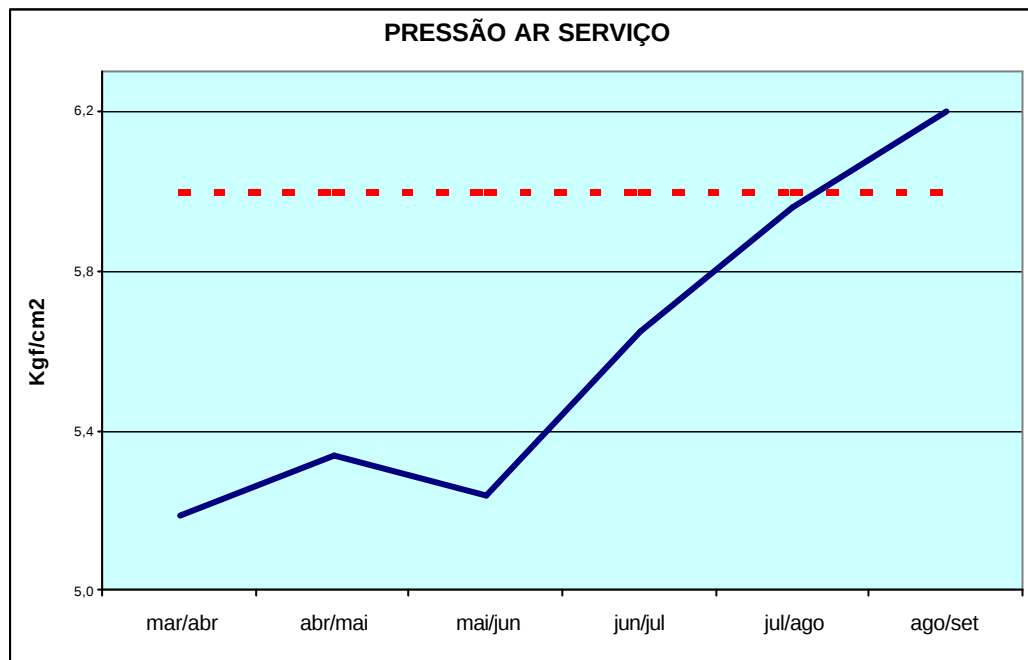


Figura 4.5: Evolução na pressão de ar de serviço com 2 compressores ligados (elaborada pelo autor)

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Capítulo 5 – Análise dos Resultados

5.1 - ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para se avaliar a validade estatística do incremento de pressão com a utilização de apenas dois compressores, foi utilizada a análise de variância (ANOVA) do software Minitab.

No caso do ar de processo, as saídas do Minitab confirmaram que houve uma melhora significativa nos valores de pressão.

One-way ANOVA: AR PROCESSO versus Mês

Source	DF	SS	MS	F	P
Mês	3	373,845	124,615	995,52	0,000
Error	16963	2123,367	0,125		
Total	16966	2497,212			

S = 0,3538 R-Sq = 14,97% R-Sq(adj) = 14,96%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----			
Abr	2167	6,3844	0,3682	(*)			
Mai	5029	6,8585	0,2627				*)
Jun	5211	6,6350	0,3443		*)		
Jul	4560	6,6174	0,4356		(*)		
				-----+-----+-----+-----+-----			
				6,45	6,60	6,75	6,90

Pooled StDev = 0,3538

Figura 5.1: Saída do Minitab para as pressões de ar de processo

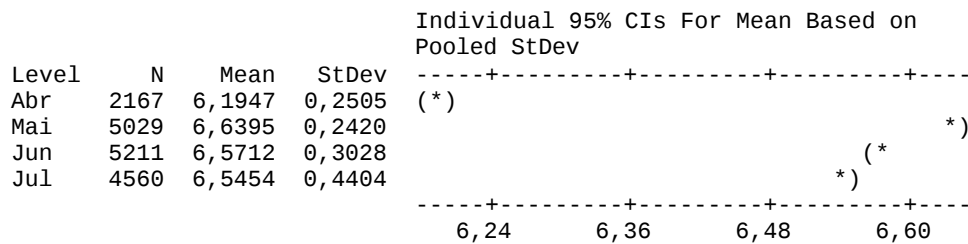
Considerando os valores de ar de instrumento, igualmente houve uma melhora estatisticamente significativa para os valores de pressão das linhas enquanto se utilizavam apenas 2 compressores.

Capítulo 5 – Análise dos Resultados

One-way ANOVA: AR INSTRUMENTO versus Mês

Source	DF	SS	MS	F	P
Mês	3	313,069	104,356	987,68	0,000
Error	16963	1792,282	0,106		
Total	16966	2105,351			

S = 0,3251 R-Sq = 14,87% R-Sq(adj) = 14,86%



Pooled StDev = 0,3251

Figura 5.2: Saída do Minitab para o ar de instrumento

Para as linhas de ar de serviço, no entanto, a quantidade pequena de leituras de medição nas amostras acabou deixando o desvio-padrão muito alto, o que não permitiu que se comprovasse estatisticamente se houve ou não melhora nos valores de pressão.

Capítulo 5 – Análise dos Resultados

One-way ANOVA: AR SERVIÇO versus Mês

Source	DF	SS	MS	F	P
Mês	3	0,39	0,13	0,11	0,955
Error	170	204,07	1,20		
Total	173	204,46			

S = 1,096 R-Sq = 0,19% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Abr	23	5,239	1,127	(-----+-----+-----+-----+-----+)
Mai	53	5,347	0,818	(-----*-----)
Jun	52	5,240	1,041	(-----*-----)
Jul	46	5,252	1,383	(-----*-----)

5,00 5,25 5,50 5,75

Pooled StDev = 1,096

Figura 5.3: Saída do Minitab para o ar de serviço

5.2 - ANÁLISE FINANCEIRA

Tomando-se como base os valores de consumo de energia do período entre o dia 20 de março e 19 de abril de 2004 e a meta estabelecida inicialmente de operar 100% do tempo com apenas dois compressores operando enquanto o terceiro ficaria como reserva, foi possível estabelecer uma estimativa de quanto se economizou em relação ao consumo de energia elétrica devido às ações de melhoria efetuadas neste projeto.

Capítulo 5 – Análise dos Resultados

Mês	Redução no Consumo (R\$)	Meta	Período
mar/abr	0	4.400	20/03 - 19/04
abr/mai	2.300	4.400	20/04 - 19/05
mai/jun	2.900	4.400	20/05 - 19/06
jun/jul	3.200	4.400	20/06 - 19/07
jul/ago	3.800	4.400	20/07 - 19/08
ago/set	4.300	4.400	20/08 - 19/09

Tabela 5.1: Economia mensal de energia (elaborada pelo autor)

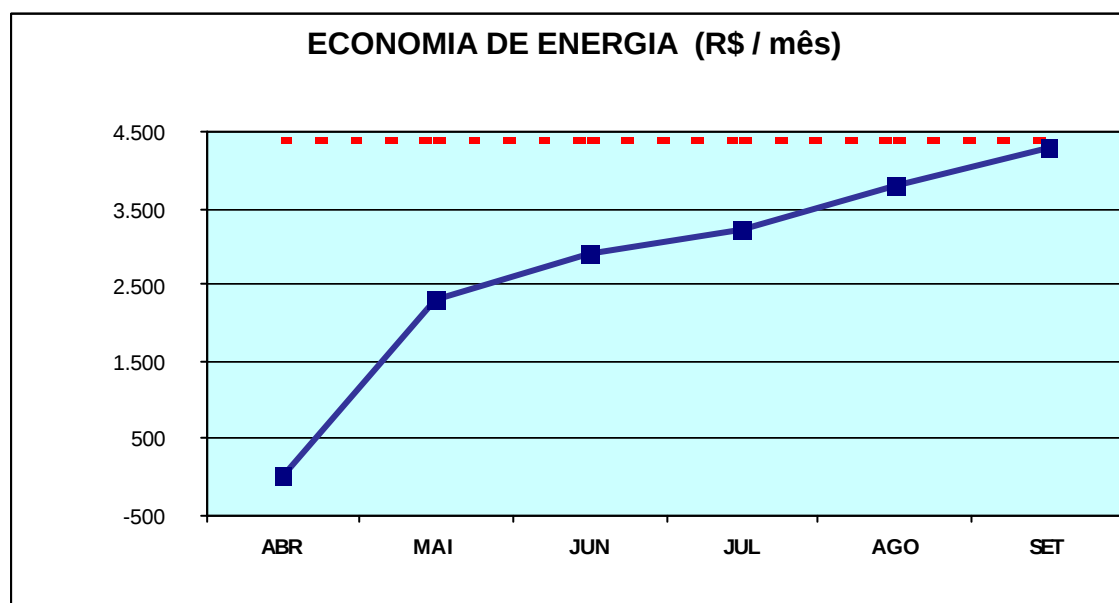


Figura 5.4: Economia mensal de energia (elaborada pelo autor)

Capítulo 5 – Análise dos Resultados

Considerando que a situação de estabilize na situação do último mês medido (intervalo entre 20 de agosto e 19 de setembro de 2004), pode-se concluir que a economia anual em energia elétrica será de:

$$4.300,00 \times 12 = \text{R\$ } 51.600,00$$

Além dessa economia referente à redução do consumo de energia, outro ponto deve ser analisado para se chegar ao valor total de economia obtida com este projeto. A alteração do material dos anéis dos compressores para teflon e a elaboração de um procedimento padrão para acompanhamento e limpeza dos elementos filtrantes ocasionará uma redução dos gastos com mão-de-obra e material para manutenção do sistema de compressão de ar.

No entanto, até o término deste trabalho não foi possível determinar o valor total da economia neste fator, tendo em vista que seria necessário pelo menos um ano de acompanhamento para se obter uma análise realista. Segundo estimativas fornecidas pelos operadores e engenheiros de processo, acredita-se que as ações tomadas diminuiriam entre 50 e 60% os valores de manutenção de válvulas e acessórios.

Para se poder chegar a uma estimativa mais concreta da redução de gastos, foi analisado o valor médio gasto em manutenção do sistema, para se chegar à seguinte distribuição dos custos.

Capítulo 5 – Análise dos Resultados

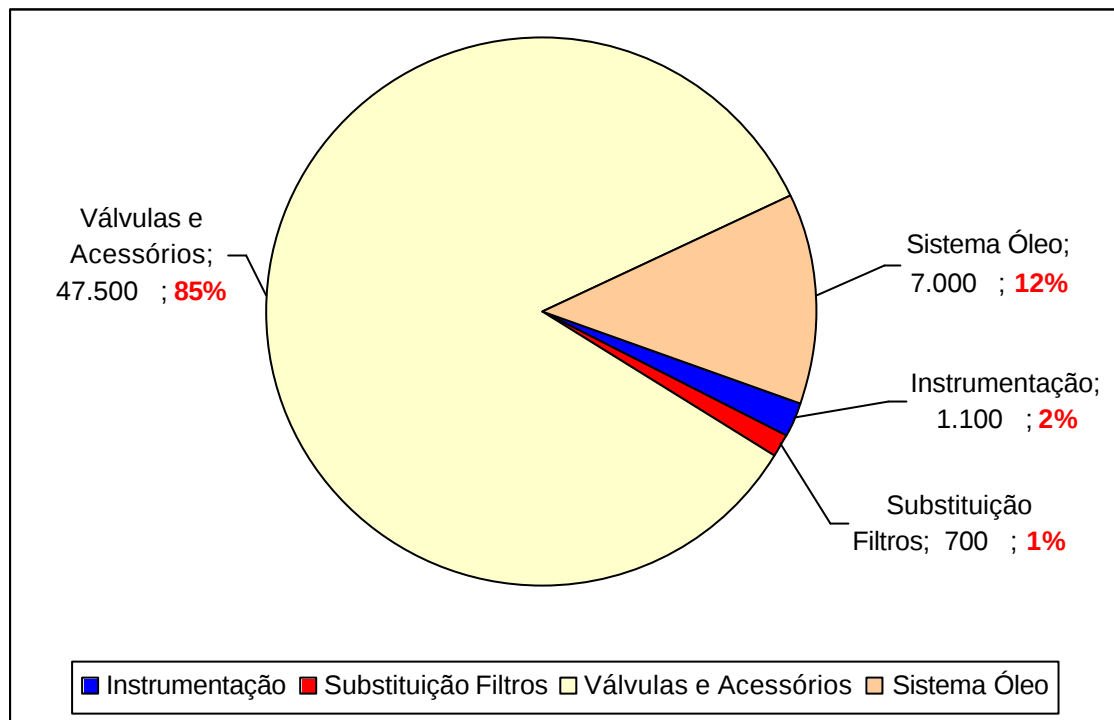


Figura 5.5: Composição do gasto anual em manutenção do sistema de compressores (elaborado pelo autor)

A partir daí, utilizando-se a estimativa mais conservadora obtida, de uma redução de 50% dos gastos em manutenção e limpeza de válvulas e acessórios, pode-se calcular que a redução de custos total obtida com este trabalho fique em torno de:

$$0,5 \times 47.500,00 + 51.600,00 = \text{R\$ } 75.350,00 \text{ por ano}$$

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Capítulo 6 – Considerações Finais

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o objetivo proposto no princípio deste trabalho, de utilizar todo o tempo do sistema de compressão de ar com a operação de apenas dois compressores, deixando um terceiro para reserva, e de reduzir os custos de mão-se-obra e materiais para a manutenção do sistema, pode-se concluir que o projeto teve um desempenho bastante satisfatório.

Em relação ao primeiro objetivo, como pode ser observado nos gráficos do Capítulo 4, houve um aumento gradual na taxa de utilização de dois compressores até a estabilização em uma faixa superior a 95%, chegando no total a um aumento de 24,4% até 96,1%.

Além disso, durante o tempo em que operam dois compressores, os valores de pressão das linhas também sofreram um incremento considerável, o que leva à conclusão de que ao final deste trabalho o sistema de compressão de ar da Carbocloro opera praticamente todo o tempo com dois compressores e com valores aceitáveis de desempenho.

Como efeito secundário do trabalho, conseguiu-se também uma melhor organização no esforço de manutenção do sistema, de modo a reduzir a quantidade de homens-hora gastos em atividades não produtiva, diminuindo assim os custos.

Esse trabalho também colaborou com o recente esforço de adaptação da empresa à cultura Seis Sigma, que se insere no crescente interesse por parte de grande parte de empresas de todo o mundo acerca desta metodologia.

Por último, vale ressaltar que o trabalho foi de importância vital para a complementação da formação do autor, tendo em vista que foi uma oportunidade ímpar para executar na prática parte da teoria aprendida no curso de Engenharia de Produção.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- BOX, GEORGE E.P. - **Statistics for Experimenters** – Ed. John Wiley and Sons – 1978.
- CROSBY, P.B. - **Qualidade é investimento**. Ed. Rio de Janeiro: José Olympio – 1979.
- FINN, G.A. – **Six Sigma in the Engineering Design Process** – Prescient Technologies Inc. – Paper apresentado em maio de 1999 no QPRC.
- GARVIN, D.A. – **Gerenciando a Qualidade – a Visão Estratégica e Competitiva** – Ed. Qualitymark – 1988.
- HARRY, M..J. – **Six-Sigma: Breakthrough Strategy for Profitability** – Revista Quality Progress – Maio 1998 – ASQ Press.
- ISHIKAWA, K. – **Guide to Quality Control** – Tóquio: Asian Productivity Organization, 1987.
- KOTZ, S.; JOHNSON, N. – **Process Capability Indices** – Chapman & Hall – 1993.
- MCCLUSKY, R. – **The Rise, Fall and Revival os Six Sigma** – Measuring Business Excellence, Vol.4 No. 2, 2000.
- PYZDEK, T. – **Uma Ferramenta em Busca do Defeito Zero** – HSM Management, v.38, maio-junho 2003.
- RAMOS, A.W. – Apostila de Treinamento – **Formação de Black Belts em Seis Sigma** - São Paulo, 2003.

- ROTONDARO, R.G. et al. – **Seis Sigma. Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços** – São Paulo: Ed. Atlas, 2002
- SHIBA, S. et al. – **A New American TQM – Four Practical Revolutions in Management** – Productivity Press – 1993.
- WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. – **A Máquina que Mudou o Mundo** – Ed. Rio de Janeiro: Campus – 1992.

ANEXOS

ANEXO 1 – PRODUTOS PRODUZIDOS PELA CARBOCLORO**Cloro Líquido**

Cloro Líquido é obtido por meio da eletrólise de solução de Cloreto de Sódio (sal grosso) e água. Sua aparência inicial é a de um gás amarelo-esverdeado, com odor pungente e irritante. Posteriormente, o Cloro-Gás é pressurizado a baixa temperatura para ser liquefeito, transformando-se em um líquido claro de cor âmbar. Ele é comercializado nesta forma, sendo transportado em carros-tanque e cilindros de 900 kg.

O Cloro é extensivamente utilizado na fabricação de PVC, solventes clorados, agroquímicos e no branqueamento da celulose. Devido ao seu alto poder bactericida, é largamente empregado no tratamento de água potável e de piscinas. Também é utilizado como intermediário nos processos de obtenção de numerosos produtos químicos, tais como: anticoagulantes, poliuretanos, lubrificantes, amaciantes de tecidos, fluidos para freios, fibras de poliéster, insumos farmacêuticos, etc.

O Cloro Líquido é ainda empregado como matéria-prima no processo produtivo do Cloreto de Hidrogênio, do Ácido Clorídrico, do Hipoclorito de Sódio e do Dicloroetano.

Soda Cáustica Líquida

A Soda Cáustica é obtida por meio de eletrólise da salmoura tratada (solução de Cloreto de Sódio e Água). Quando é utilizado o processo por células de diafragma, obtêm-se a Soda Cáustica Líquida Grau Comercial; quando é utilizado o processo por células de mercúrio, obtêm-se a Soda Cáustica Líquida Grau Rayon. Ambas apresentam-se sob a forma de uma solução aquosa, límpida, contendo cerca de 50 % de Hidróxido de Sódio (NaOH) em peso. Elas são comercializadas nesta forma a granel, sendo transportadas em carros-tanque e vagões ferroviários.

Soda Cáustica em Escamas

Tanto a Soda Cáustica em Escamas Grau Rayon, como a Soda Cáustica em Escamas Grau Comercial são obtidas a partir do processo de evaporação da Soda Cáustica Líquida, da fusão do produto anidro e do processo de escamação. Estes produtos apresentam-se na forma de escamas brancas, altamente deliqüescentes (absorve água da atmosfera, dissolvendo-se nela) e com concentração média de 96 a 98 % de Hidróxido de Sódio em peso, dependendo de sua especificação. A Soda Cáustica em Escamas é comercializada em sacos de polietileno de 25 Kg, paletizados.

Ácido Clorídrico

O Ácido Clorídrico é obtido pela queima de Cloro e Hidrogênio, formando o gás Cloreto de Hidrogênio, que depois é absorvido em água.

Apresenta-se como um líquido fumegante claro e ligeiramente amarelado, com odor pungente e irritante. Contém cerca de 33% de Cloreto de Hidrogênio em peso e é comercializado nesta forma, a granel. O transporte é feito em carros-tanque.

É utilizado principalmente para limpeza e tratamento de metais ferrosos, flotação e processamento de minérios, acidificação de poços de petróleo, regeneração de resinas de troca iônica, na construção civil, neutralização de efluentes, fabricação de produtos para a indústria de alimentos e farmacêutica, entre muitos outros.

Dicloreto (EDC)

O Dicloroetano é fabricado e comercializado na forma líquida, sendo obtido pela reação a baixas temperaturas do cloro com o etileno, na presença de ferro e oxigênio.

Posteriormente, o produto é purificado para a remoção das impurezas orgânicas e inorgânicas, formadas pelas lavagens químicas e pela destilação efetuadas durante a reação. O Dicloroetano é matéria-prima básica para a fabricação de PVC, que é largamente utilizado na construção civil na forma de tubos e conexões para água potável e esgoto. O PVC também é utilizado na fabricação de embalagens, filmes plásticos, recobrimento de fios e cabos elétricos, na indústria automobilística, etc.

Hipoclorito de Sódio

O Hipoclorito de Sódio é obtido pelo borbulhamento de Cloro em solução de Hidróxido de Sódio. O produto apresenta-se como solução aquosa alcalina, contendo cerca de 13% de Hipoclorito de Sódio (NaClO), com coloração amarelada e odor característico. É comercializado nesta forma a granel e transportado em carros-tanque. O Hipoclorito de Sódio tem propriedades oxidantes, branqueantes e desinfetantes, servindo para inúmeras aplicações, tais como: branqueamento de celulose e têxteis, desinfecção de água potável, tratamento de efluentes industriais, tratamento de piscinas, desinfecção hospitalar, produção de água sanitária, lavagem de frutas e legumes, além de agir como intermediário na produção de diversos produtos químicos.