

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS**  
**INTELIGÊNCIA ORGANIZACIONAL**

**IRLAM REIS DE ARAGÃO**

**REDUÇÃO DE PERDAS EM UM PROCESSO PRODUTIVO  
PETROQUÍMICO COM O USO CONJUNTO DA ÁRVORE DE  
PERDAS E DO SEIS SIGMA**

Florianópolis

2008

**IRLAM REIS DE ARAGÃO**

**REDUÇÃO DE PERDAS EM UM PROCESSO PRODUTIVO  
PETROQUÍMICO COM O USO CONJUNTO DA ÁRVORE DE  
PERDAS E DO SEIS SIGMA**

Dissertação apresentada no Curso de Mestrado em  
Engenharia de Produção – Inteligência Organizacional,  
Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas.  
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador:  
Prof. Dr. Antonio Cezar Borna

Florianópolis  
2008

IRLAM REIS DE ARAGÃO

REDUÇÃO DE PERDAS EM UM PROCESSO PRODUTIVO PETROQUÍMICO COM O  
USO CONJUNTO DA ÁRVORE DE PERDAS E DO SEIS SIGMA

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de “Mestre” em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

---

**Prof. Dr. Antônio Sérgio Coelho - Coordenador**

---

**Prof. Antonio Cezar Bornia, Dr - Orientador**

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. Leonardo Ensslin, Ph. D.**  
**Presidente da Banca – UFSC**

---

**Prof. Sérgio Murilo Petri, Dr.**  
**Membro Externo - UNIUALI**

---

**Profa. Sandra Rolim Ensslin, Dra.**  
**Membro da Banca - UFSC**

Dedicatória:

Aos meus pais pelos maiores bens: a vida e a educação;

A Tania, Isis e Flávia pelo incentivo e apoio incondicional;

A Ania e Ilia pelo exemplo de dedicação e empenho e  
pela ajuda nas revisões e críticas;

## AGRADECIMENTOS

É fundamental na avaliação de desempenho deste trabalho de pesquisa desenvolvido, expressar e apresentar os meus profundos agradecimentos:

- ✓ Ao Professor Doutor, Antonio Cezar Bornia, pela orientação serena e construtiva, segura e focada, que me permitiu ampliar os conhecimentos e, com isso concluir mais um desafio na minha vida acadêmica.
- ✓ A minha família pelo apoio incondicional e por servirem de referência no valor dado a educação e formação do ser humano.
- ✓ A minha esposa e filhas por estarem ao meu lado em todos os momentos, principalmente os mais turbulentos.
- ✓ Aos colegas e companheiros da UFSC / FIB por compartilharem de forma tranqüila os momentos de aprendizagem.
- ✓ A Railda Souza (*in memory*) pelo estímulo e incentivo para iniciar esta jornada.
- ✓ Aos membros da banca Prof. Leonardo Ensslin, Ph. D., Prof. Sérgio Murilo Petri, Dr. e Profa. Sandra Rolim Ensslin, Dra. pelas oportunidades de melhoria identificadas nesse trabalho e pelos aperfeiçoamentos propostos.
- ✓ Todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso deste projeto.

## RESUMO

O presente trabalho objetiva examinar a redução de perdas num processo produtivo petroquímico a partir da aplicação integrada de duas sistemáticas voltadas para a identificação e eliminação de perdas: a Árvore de Perdas e o Seis Sigma. De início, toma-se como referência uma abordagem baseada na necessidade da busca pela competitividade da indústria e de como a inteligência gerencial pode realizar um papel diferenciado na sua concretização. A aplicação de sistemáticas que indiquem os principais focos dos processos produtivos, de maximização da produtividade pela eliminação de perdas, tem sido uma das atividades das empresas modernas. A árvore de perdas é uma sistemática que pode, indicar quais são as principais oportunidades para redução das perdas. O Seis Sigma, por sua vez, tem por objetivo eliminar as perdas e desperdícios nos processos, por meio da redução da sua variabilidade. A integração destas duas sistemáticas pode levar a empresa a obter vantagens em sua competitividade pela redução de custos de produção, melhoria da qualidade de seus produtos e otimização dos processos produtivos e transacionais. Este trabalho utiliza um estudo de caso para analisar a integração entre a Árvore de Perdas e o Seis Sigma, verificando suas vantagens, benefícios e restrições. Concluiu-se, ao final, que a combinação das duas sistemáticas na empresa estudada possibilitou a redução das perdas uma vez que a Árvore de Perdas pôde mapear os principais pontos de desperdícios da empresa enquanto que o Seis Sigma pôde reduzir significativamente as variações do processo, aumentando os seus resultados.

**Palavras-chave:** Qualidade, Produtividade, Árvore de Perdas, Perdas, Seis Sigma.

## ABSTRACT

This work intends to analyze the loss reduction into a petrochemical production process by integrating two methodologies focused on identifying and eliminating losses in a production process. It starts considering the industries competitive environment and how the entrepreneurial intelligence may make difference in adding value. The methodologies application that indicates the main focus to improve productivity through losses elimination has been done by the modern companies. The losses tree is a methodology that provides, if well structured, a very good indication of where are the main opportunities to reduce / eliminate losses into the processes – productive and transactional. In the other had Six Sigma has the proposal of eliminate losses in the processes by reducing its variability. The integration of these two methodologies can drive the company to obtain advantages in terms of its competitiveness by reducing production costs, improving its products / services quality and optimizing transactional and productive processes. By using a practical study case this work will analyze the integration of Losses Tree and Six Sigma methodology, searching its benefits, advantages and limitations. At the end, this research concludes that, at the company studied the application of both methodologies was synergic, once that Loses tree indicated the wastes map and six sigma reduced them by reducing variability.

**Key words:** Quality, Productivity, Losses, Losses Tree, Six Sigma

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Evolução do preço do barril de petróleo .....	32
Figura 2 Modelo esquemático do Lucro Econômico .....	39
Figura 3 Modelo esquemático de perdas num sistema de valor .....	42
Figura 4 Rendimento Global do equipamento.....	45
Figura 5 Diferença entre a abordagem tradicional e “Classe Mundial” .....	47
Figura 6 Estrutura dos tipos de perda para o cálculo do IEG .....	50
Figura 7 Fatores utilizados para o cálculo do IEG .....	52
Figura 8 Exemplo de outras formas de cálculo de perdas .....	53
Figura 9 Exemplo do conceito de Seis Sigma .....	59
Figura 10 Esquema dos princípios do Seis Sigma.....	61
Figura 11 Grau de esforço necessário para evoluir o nível de sigma do processo.....	61
Figura 12 Gerenciamento de Restrições em processos .....	70
Figura 13 Estrutura de enquadramento metodológico.....	77
Figura 14 Estrutura de enquadramento metodológico.....	82
Figura 15 Modelo estrutural da empresa estudada .....	85
Figura 16 Questionário aplicado a liderança da UN3 para verificar sinergia sistemáticas .....	88
Figura 17 Fluxo do procedimento adotado na implantação da Árvore de perdas .....	91
Figura 18 Modelo de cálculo de perdas adotado pela empresa .....	95
Figura 19 Princípio utilizado para cálculo das perdas.....	96
Figura 20 Estruturação conceitual da composição das perdas por IEG .....	96
Figura 21 Estruturação conceitual das perdas em CV .....	97
Figura 22 Resultado do modelo da árvore de perdas aplicado a planta D pela Petroq1. ....	99
Figura 23 Resultado do modelo da árvore de perdas aplicado a UN 3 pela Petroq1 .....	100
Figura 24 Gráfico que representa as principais perdas da UN 3 .....	101

Figura 25 IEG das Plantas da UN3.....	101
Figura 26 Segmentação por linha de perda para as plantas UN 3 .....	103
Figura 27 Plano de redução de perdas para a UN 3.....	104
Figura 28 Fluxo do processo de implantação do Seis Sigma na UN3.....	104
Figura 29 Definição do fluxo de melhorias para a Petroq1 .....	108
Figura 30 Identificação de perdas em CV numa das plantas da UN3 .....	109
Figura 31 Identificação do principal componente em CV para geração de vapor .....	110
Figura 32 Verificação do comportamento do consumo de GN e da correlação com o faturamento.....	111
Figura 33 Levantamento do fluxo físico de Matérias-primas e produtos acabados .....	111
Figura 34 Fluxo lógico de <i>inputs / outputs</i> do processo .....	112
Figura 35 Análise de capacidade do processo em termos de consumo de vapor.....	112
Figura 36 Exemplo de aplicação do diagrama de C&E e resultado final da sua aplicação....	113
Figura 37 Gráfico de correlação entre os sistemas de medição.....	114
Figura 38 Redução gradativa da variabilidade do consumo específico do vapor .....	115
Figura 39 Análise estatística para verificação da significância da mudança no processo a partir de seus dados antes e depois das melhorias.....	115
Figura 40 Análise de capacidade do processo após as primeiras mudanças implantadas ...	116
Figura 41 Análise sumarizada da aplicação do Seis Sigma na UN3 .....	118
Figura 42 Análise da árvore de perdas na UN3 nos anos 2002-2004 .....	121
Figura 43 IEGs das plantas da UN3 entre 2002 e 2004.....	121
Figura 44 Análise da árvore de perdas na UN3 nos anos 2002-2004 relacionado aos tipos..	122
Figura 45 Análise das perdas na UN3 nos anos 2002-2004 por planta.....	122
Figura 46 Plano de redução de perdas da UN3 – Previsto versus realizado .....	123

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação por nível de $\sigma$ de defeitos, rendimento e custo de qualidade .....	60
Quadro 2 - Fatores de perda P1. ....	94
Quadro 3 - Fatores de perda P3 e Quadro 4 - Fatores de perda P2 .....	95
Quadro 5 - Classificação dos tipos de perda em custos variáveis .....	96
Quadro 6 - Compilação das respostas ao questionário sobre sinergia das sistemáticas .....	125
Quadro 7 - Compilação e análise das suposição e evidências com os objetivos de pesquisa	127

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
1.1	O ambiente competitivo atual.....	14
1.2	Definição do Problema .....	17
1.3	Objetivos.....	22
	1.3.1 Objetivo Geral .....	22
	1.3.2 Objetivos Específicos .....	22
1.4	Justificativa.....	22
1.5	Estrutura do Trabalho .....	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	24
2.1	A Indústria Petroquímica e os elementos de competitividade do Setor .....	24
	2.1.1 A Petroquímica no mundo.....	26
	2.1.2 A Petroquímica no Brasil (1960 – 1989).....	28
	2.1.3 A Petroquímica no Brasil (1990 – hoje).....	30
	2.1.4 Principais conseqüências .....	35
2.2	Geração de riqueza através da inteligência gerencial.....	38
2.3	As Perdas na Indústria .....	40
2.4	Árvore de Perdas – Identificando as oportunidades .....	43
	2.4.1 Referenciais utilizados para o cálculo do IEG.....	51
	2.4.2 Outras Perdas – Obtenção de Referências Internas .....	53
	2.4.3 Referências teóricas – buscando um salto de performance.....	54

2.5	A evolução do papel da qualidade nas empresas.....	55
2.6	O Seis Sigma .....	58
2.7	O seis sigma como metodologia para agregar valor.....	65
2.8	O processo produtivo petroquímico .....	67
2.9	Adaptação de sistemáticas de processo discreto para processo contínuo.....	68
2.10	Exemplo de aplicação em processo contínuo .....	71
2.11	Síntese das idéias e conceitos mais relevantes .....	72
3	METODOLOGIA DO TRABALHO .....	77
3.1	Classificação da Pesquisa .....	77
3.1.1	Modelo para enquadramento metodológico da pesquisa científica.....	77
3.1.2	Enquadramento metodológico .....	80
3.2	Suposições e resultados esperados: .....	82
3.3	Definição das variáveis.....	84
3.4	Unidade de Estudo.....	84
3.5	Coleta de Dados.....	86
3.6	Tratamento dos Dados .....	89
3.7	Limitações .....	89
4	IMPLANTAÇÃO CONJUNTA DA ÁRVORE DE PERDAS E DO SEIS SIGMA	91
4.1	Implantação da Árvore de Perdas.....	91
4.1.1	Procedimentos para estruturação da árvore de perdas.....	91
4.1.2	Levantamento das perdas.....	97
4.2	Implantação do Seis Sigma.....	104

4.2.1	Procedimentos para implantação do seis sigma .....	104
4.2.2	Exemplo de condução de um projeto seis sigma.....	109
4.3	Resultados Obtidos .....	117
4.3.1	Benefícios da aplicação do Seis Sigma .....	117
4.3.2	Redução das Perdas .....	120
4.3.3	Repostas ao Questionário .....	124
4.4	Restrições da análise.....	127
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	129
5.1	Conclusões.....	129
5.2	Recomendações para futuros trabalhos .....	132
	REFERÊNCIAS .....	134

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 O ambiente competitivo atual

Para Kanter (1996), o termo “Classe mundial” sugere a necessidade de satisfazer os padrões mais restritivos para poder participar da competição global e, ao mesmo tempo, operar além das fronteiras e em territórios amplos.

A autora defende que as batalhas competitivas do futuro serão disputadas entre redes globais com seus participantes espalhados por vários países e regiões. Dependendo do setor, a gama de localizações e o porte das empresas representadas nas redes poderão variar; as empresas não precisam ser gigantes para florescer nas novas redes globais. A rota do sucesso para pessoas, empresas e localidades está em transformarem-se em elos dessas cadeias globais e em garantirem que as atividades locais atendam a padrões mundiais de excelência... Precisam se tornar centros mundiais de habilidades classe mundial distintas. Precisam se juntar à classe mundial.

Para Neto (2001), esse um novo padrão de produção de bens e serviços está fundamentado nos conceitos de flexibilidade, agilidade e produção enxuta (*lean production*) e trouxe profundas modificações nas estruturas organizacionais das empresas. Com a crescente globalização dos mercados, as empresas nacionais começaram a defrontar-se com uma nova realidade, passando a competir com produtos do mercado comum europeu, do bloco norte-americano, do Japão e, principalmente, dos tigres asiáticos, como Coréia, Taiwan, Cingapura, Hong Kong e, mais recentemente, China.

Marinho (1994) defende que nesse movimento de globalização dos mercados, as empresas brasileiras passaram a viver um período de transição, passando de uma economia com grande interferência do mercado para uma economia cujo núcleo dinâmico reside na qualidade, na produtividade e na competitividade baseada em padrões internacionais. Está cada vez mais

claro que do nível de produtividade obtido pelas organizações brasileiras nos próximos anos, tanto no setor privado como no setor público, dependerá nossa capacidade de participar ativamente desse processo de trocas internacionais, cada vez mais globalizado.

A transição pela qual as empresas, especialmente as brasileiras está passando é marcada pelo colapso de modelos e formas organizacionais que sustentaram o processo de gestão no século passado. No antigo paradigma, existia a prevalência da atuação de empresas verticalizadas, com estruturas hierárquicas complexas. Estas empresas estão, portanto, num período de construção de um novo paradigma de produção, no qual a competitividade está baseada na flexibilidade e diversificação.

Frente a este novo desafio, Neto (2001) menciona que num curto prazo, as empresas optaram por dar ênfase à eliminação de ineficiências na produção, a redução de custos e a construção de relações mais estáveis com fornecedores e clientes, visando a busca de níveis mais adequados de competitividade. Para atuar dentro deste novo padrão de competitividade, as empresas precisam se tornar cada vez mais *world class companies*, capazes de fornecer e comprar peças, equipamentos e serviços de todos e para todos os pontos do mundo.

Para Wahba (2002), a empresa que gera riqueza, cria condições de investir na conquista de novos mercados e em ativos humanos superiores, produtos e serviços inovadores, instalações e equipamentos que vão garantir sua competitividade em médio e longo prazo. Uma operação bem gerenciada, nos aspectos estratégicos e operacionais, se traduz em retornos sobre o capital empregado maiores que os esperados, atraindo cada vez mais, investidores.

Para enfrentar a complexidade da nova era de competitividade, é preciso ter estratégias para dar rumo, concentrar potencial cerebral, obter coerência nas decisões e ações, sem, no entanto, engessar a criatividade diante de qualquer percalço ou aparecimento de nova oportunidade de aumentar o lucro econômico. Ao mesmo tempo, não se pode esquecer que, a visão de lucro econômico é de médio e longo prazo, ou seja, à medida que as mudanças estão

se difundindo, torna-se vital que se crie o futuro para garantir receitas, custos e uso de capital adequados, formulando estratégias para garantir o sucesso operacional em curto e médio prazo e estratégias para capacitar a empresa a se adaptar às condições futuras.

Assim, o ambiente competitivo em que as empresas vivem as tem levado a adotar diferentes estratégias visando permanecer no mercado. Como nos outros ramos de negócio, o cenário da indústria petroquímica na primeira e segunda geração veio se modificando ao longo dos últimos anos. Os indicativos de tendência desta indústria, conforme comentado por Guerra (1993) apontam para ameaças e oportunidades, tais como: a consolidação dos grandes grupos petroquímicos; a tendência de queda dos preços e a necessidade crescente da gestão de performance como um imperativo para sobrevivência; o aumento do uso do plástico como substituto aos produtos tradicionais, principalmente nas indústrias de embalagens e automobilística e o aumento do parque de indústrias de processamento (ou transformação) – de terceira geração.

No Brasil, além das tendências citadas, somam-se tendências regionais, quais sejam: a aceleração da dinâmica estratégica das empresas; o foco prioritário no mercado regional (Mercosul) e a presença crescente no mercado internacional. Some-se a esses fatores, as tendências de valorização e reconhecimento mundial da Petrobrás e os movimentos de fusão e aquisição de empresas e formação de novos pólos petroquímicos.

Segundo Porter (1980), o que define o ambiente de competição de uma empresa é o conjunto de indústrias com as quais ela compete. E esta estrutura industrial influencia fortemente a determinação das regras de competição além das estratégias potenciais à disposição da empresa.

De acordo com o autor, a intensidade desta competição não é uma questão de sorte ou azar: ela sofre influência de cinco forças competitivas básicas: entrantes potenciais; fornecedores; compradores; produtos substitutos e concorrentes na indústria;

Para uma empresa ou um segmento industrial definir sua estratégia de competição, torna-se necessário, antes de tudo, definir sua posição dentro da estrutura de competição do setor, de forma a poder defender-se das forças competitivas ou, melhor ainda, influenciá-las para obter melhores vantagens. Entretanto, para que isso aconteça, é necessário antes de tudo, realizar uma análise estrutural, sem a qual não é possível formular uma estratégia competitiva adequada. A base da análise de resultados da estratégia da uma indústria expressa, por exemplo, em termos de rentabilidade, será comparada com a taxa de retorno sobre o capital empregado. O raciocínio que serve de base para análise é o de que os investidores não aceitarão rentabilidade de empresas abaixo das taxas de retorno e elas acabarão deixando o negócio.

A combinação das forças citadas acima é o que determina a intensidade da competição e, por consequência, a rentabilidade do negócio. É claro que, para um determinado negócio, algumas forças exercerão maior influência do que outras e, baseada neste fato, a empresa formulará a sua estratégia.

## **1.2 Definição do Problema**

Segundo Wahba (2002), a verdadeira função do gestor em qualquer negócio está baseada na geração de riqueza – o que possibilita sobrevivência da empresa, o seu crescimento e a sua perpetuidade.

Sistemáticas de melhoria foram desenvolvidas com o objetivo de melhorar e estabilizar a qualidade dos processos empresariais. Algumas delas têm sido utilizadas nos negócios com objetivos que vão além da qualidade do produto. O Seis Sigma, por exemplo, utiliza ferramentas estatísticas aliadas a um processo disciplinado, cujo objetivo final é gerar resultados financeiros para a empresa.

Em sua análise sobre qualidade e produtividade, Paladini (2004) afirma que definir qualidade de forma errônea leva a gestão da qualidade a adotar ações cujas conseqüências podem ser extremamente sérias para a empresa.

Uma visão completa da qualidade leva a um conjunto de critérios a serem atendidos em relação a um produto, sob a perspectiva de clientes cada vez mais exigentes e conscientes.

Alguns desses critérios dizem respeito a características tangíveis como operabilidade, segurança, tolerância a falhas, conforto, durabilidade, preço, quantidade, prazo de entrega, facilidade de manutenção, etc. Outros estão relacionados a aspectos intangíveis, como, por exemplo, a imagem da empresa, seus gestores e empregados, em relação a ética, meio ambiente, saúde e segurança do trabalhador e responsabilidade social, dentre outros.

O conceito de “adequação ao uso”, uma das definições da qualidade mais utilizadas, atende em parte a solução do problema proposto, ou seja, a identificação do que é considerado pelo cliente como útil para satisfazer as suas necessidades pode colocar a empresa no início de um processo de fidelização, mas não é por si só suficiente, uma vez que as necessidades do cliente mudam e a concorrência está em constante evolução de processos. Além disso ainda pode-se citar o risco dos produtos substitutos e dos novos entrantes, conforme define Porter (1980). A qualidade que se busca nas organizações atuais normalmente diz respeito à continuidade / perpetuidade do negócio. Não há como se separar o conceito de qualidade do próprio objetivo do negócio.

Wahba (2002) traz uma nova perspectiva da gestão, ao afirmar que, além de buscar continuamente a excelência operacional, é preciso:

- Desenvolver o pensamento voltado para o Lucro Econômico na organização.
- Motivar o ativo humano e oxigená-lo por conhecimentos e informações.
- Determinar os impulsionadores e protetores das receitas, dos custos e do capital empregado.

- Visar a rentabilidade na criação de produtos e serviços.
- Implementar modelos operacionais que possibilitem uma profunda integração entre as funções.
- Planejar os processos em todo o sistema de valores de modo a impulsionar o aumento das receitas e a redução tanto dos custos como do capital empregado.
- Executar os processos de acordo com os valores de referência e procedimentos definidos.
- Monitorar oportunidades de gerar melhores resultados e reduzir ou eliminar ameaças que possam destruir valor.
- Avaliar o resultado das ações passadas e das atividades que impulsionam os Lucros Econômicos futuros
- Agir ou corrigir, em função das oportunidades, ameaças e resultados.

Segundo o autor, a verdadeira função da gestão em qualquer negócio está baseada na geração de resultados empresariais sustentáveis – o que possibilitará a sua sobrevivência, o seu crescimento e a sua perpetuidade.

Na evolução histórica dos conceitos da gestão da qualidade, muitas sistemáticas têm sido empregadas em diversas empresas e negócios com fins diversos. Algumas com sucesso incontestável e outras de forma e com resultados questionáveis.

Cabe então às empresas modernas definir e implantar uma sistemática associada a sua estratégia de negócio que possa identificar os principais pontos de perda no seu negócio e, contínua e consistentemente, buscar alternativas para eliminá-las ou reduzi-las, agregando valor a todas as partes interessadas, os *stakeholders*.

Eckes (2001) menciona que a diferença entre a maneira como estas sistemáticas eram aplicadas e como se faz nos dias de hoje está relacionada à forma como são usadas nas empresas, associando-as aos objetivos estratégicos do negócio. Numa empresa moderna, o

que norteia a filosofia do seu sistema de produção é o que Bornia (2002) define como uma das principais diferenças entre a empresa moderna e a antiga: a constante procura de melhoria em suas atividades. Ele defende o fato das empresas se concentrarem não apenas na busca constante de seu aprimoramento e inovação tecnológica, como também na eliminação de perdas nos processos existentes. O autor esclarece que o desperdício não agrega valor ao produto e não é necessário ao trabalho efetivo. O desafio da empresa moderna é, então, constantemente, de forma contínua, buscar identificar as oportunidades de melhoria em seus processos e a implantação da melhoria em si de forma sustentável. Duas das sistemáticas utilizadas neste desafio são a Árvore de Perdas e o Seis Sigma.

Segundo Harry e Schöeder (2000), o Seis Sigma pode ser entendido como um processo de negócio que tem como foco principal aumentar a lucratividade da empresa através da redução da variabilidade dos seus processos. Esta sistemática consta de cinco etapas bem definidas e estruturadas de forma que, se seguidas com a disciplina necessária, levarão os líderes de processo e suas equipes a identificar as principais fontes de variação e perdas e, a partir daí, estabelecer ações para reduzi-las e controlá-las, garantindo, assim a sustentação dos ganhos obtidos.

Já a *Total Productive Maintenance* – ou Manutenção Produtiva Total (TPM) visa principalmente a proteção de valor do acionista, resgatando as condições básicas dos equipamentos e garantindo sua confiabilidade, a partir da identificação de perdas no processo produtivo conforme define Suzuki (1994). O autor sugere a utilização de uma sistemática que, a partir da comparação dos resultados da empresa com algumas referências estabelecidas, possam se identificar os grandes grupos de perda do negócio. A partir desta identificação sistemática, toda a organização deve definir ações para minimizar ou eliminar estas perdas identificadas (IMAI, 1997). Esta sistemática de identificação e priorização da eliminação de perdas é conhecida como “Árvore de Perdas”.

Ambas as sistemáticas, a Árvore de Perdas e o Seis Sigma, têm sido aplicadas por empresas com o objetivo de identificar e reduzir perdas nos seus processos. Entretanto, via de regra, as duas sistemáticas são empregadas de forma isolada: o seis sigma sob a forma de projetos de aumento de lucratividade; e a Árvore de Perdas como um elemento de priorização para as ações ligadas ao TPM.

Além disso, ambas as sistemáticas possuem um histórico de aplicação em processos discretos, normalmente ligados a indústria de montagem, como a automobilística.

Essas duas sistemáticas começaram a ser implantadas na empresa estudada a partir do ano de 2002. Ao longo dos dois anos seguintes, possibilitou a identificação e implantação de melhorias em processos, melhorando os resultados nos processos de negócio. A partir de 2005, essas duas sistemáticas foram incorporadas ao sistema de produção da empresa que adotou práticas das plantas de alto desempenho gerando ganhos ao longo dos dois anos seguintes (2006 e 2007) na ordem de dezenas de milhões de dólares em redução de perdas.

O projeto de pesquisa procurou verificar a origem do sistema de produção implantado pela empresa: a aplicação conjunta da árvore de perdas e do seis sigma.

Sendo assim, formulou-se o seguinte problema:

Posto que o cenário da indústria petroquímica brasileira e seus desafios pela competitividade levam a uma necessidade de concorrer em nível mundial, seria, a princípio, uma boa estratégia, associar as sistemáticas da árvore de perdas com o seis sigma, que normalmente são aplicadas de forma isolada e em processos discretos combinando-as de maneira sinérgica?

### 1.3 Objetivos

#### ➤ Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar os resultados obtidos com o uso conjunto das sistemáticas “Árvore de perdas” e do Seis Sigma e as perdas identificadas num processo petroquímico contínuo.

#### ➤ Objetivos Específicos

Para se atingir este objetivo geral, torna-se necessário responder a questões associadas à aplicação das duas sistemáticas ao impacto de sua implantação nos resultados alcançados pela empresa e na forma como estes se refletem na sua competitividade.

Sendo assim, os objetivos específicos deste trabalho, podem ser resumidos em:

- Identificar se a aplicação da sistemática da “Árvore de Perdas” do TPM serviu como forma de identificação de perdas e oportunidades para trazer retorno a uma empresa do setor petroquímico - estudada.
- Verificar a utilização da aplicação da sistemática do Seis Sigma como forma de eliminar ou reduzir as perdas identificadas, trazendo retorno para uma empresa do setor petroquímico - estudada.
- Verificar se há a necessidade de alguma adaptação das sistemáticas para sua aplicação conjunta numa empresa de processos contínuos.
- Aplicar as sistemáticas de maneira conjunta em uma empresa do setor petroquímico.

### 1.4 Justificativa

As sistemáticas como Seis Sigma e TPM foram desenvolvidas em empresas de manufatura, ou seja, que se utilizam de processos discretos. Os processos da indústria petroquímica são normalmente contínuos. Assim, torna-se importante para este projeto de pesquisa:

- Poder contribuir para aumentar o acervo de referências sobre o estudo de aplicabilidade em empresas de processo contínuo, de sistemáticas utilizadas predominantemente em processos de manufatura ou ditos discretos.
- Contribuir para aumentar o acervo de referências sobre o estudo de aplicação dessas sistemáticas numa empresa petroquímica, posto que durante a fundamentação teórica, observou-se pouca literatura disponível sobre este tema.
- Fundamentar a análise de retorno econômico e estratégico da combinação de ambas as sistemáticas numa empresa do ramo petroquímico.

## **1.5 Estrutura do Trabalho**

Neste primeiro capítulo apresenta-se a introdução do presente trabalho de pesquisa com o intuito de delimitar o que será abordado no decorrer do trabalho.

O capítulo 2, destaca a fundamentação teórica relacionando o papel atual dos gestores na geração de riqueza das empresas com as principais perdas da indústria e as sistemáticas para identificação e redução destas perdas.

No capítulo 3 descreve-se o modelo utilizado para escolha da metodologia de pesquisa, a metodologia utilizada, bem como as estratégias para o estudo das variáveis e dados coletados e as possíveis limitações encontradas.

O capítulo 4 apresenta a descrição do estudo de caso, onde se descreva a implantação conjunta das sistemáticas da Árvore de Perdas e do Seis Sigma numa empresa petroquímica.

Neste capítulo também são demonstrados os resultados obtidos pela empresa estudada.

Finalmente no capítulo 5 são apresentadas as conclusões e recomendações desse trabalho de pesquisa.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 A Indústria Petroquímica e os elementos de competitividade do Setor**

Muito embora o gás natural e o petróleo sejam associados a combustíveis como gasolina e o diesel, estes produtos estão localizados no início de uma cadeia produtiva que gera materiais de conhecimento comum de boa parte da população: os plásticos. O início da cadeia de produção dos petroquímicos está localizado na nafta, uma fração retirada do petróleo, ou no gás natural. A primeira geração desta cadeia produtiva tem por objetivo, reagir a nafta ou gás natural em altas temperaturas, quebrando a sua estrutura química, transformando-os em eteno, que é matéria prima para a segunda geração. Nesta fase da cadeia, o eteno é reagido de diferentes formas e dá origem aos polietilenos.

A rota de produção via nafta, embora tenha, a priori, um custo unitário maior do que a rota que usa gás, gera uma gama de produtos secundários que viabilizam a sua utilização em outros processos da segunda geração podendo produzir outros plásticos como polipropilenos, polietileno tereftalato (PET), Policloreto de Vinila (PVC), dentre muitos outros. O fato de ser possível gerar uma gama maior de produtos, criando alternativas, é um dos fatores, de acordo com Rodrigues (2003), que fez a rota de produção de eteno a partir da nafta, ser uma das rotas preferidas.

Os plásticos em seu estado bruto são, então, processados na terceira geração através de transformações físicas, como fusões e misturas, gerando os utensílios e materiais de conhecimento do público, como embalagens, tubos e conexões, brinquedos, e especialidades diversas. É esta diversidade de aplicações que faz com que autores como Guerra (1993), defendam a idéia de que a indústria petroquímica mundial esteja localizada de forma estratégica na cadeia produtiva, pelo fato de produzir os insumos, base para toda a estrutura de

produção, como embalagens, automóveis, brinquedos, construção e mesmo especialidades em áreas como medicina e saúde.

Esta indústria, conforme o autor explica, possui como principais características: a alta intensidade em capital e em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D); a demanda por trabalhadores especializados; alto grau de interdependência entre seus segmentos e a possibilidade de substituição de matérias-primas, rotas tecnológicas e aplicação de produtos.

Uma das barreiras mais comumente usadas por esta indústria está centrada na escala, ou seja, na instalação de fábricas com grandes volumes de capacidade instalada. Em função disso, o tamanho do mercado é, de acordo com o autor, uma variável importante e que é responsável por introduzir uma instabilidade potencial que é efetivada por épocas de retração de demanda. Nestes momentos, a alternativa que se apresenta é a busca por mercados externos para alocação do excedente de produção, associada a cortes de preço e conseqüente estreitamento das margens. Esta ociosidade é planejada uma vez que a cada novo aumento de capacidade, o seu crescimento ocorre à frente da demanda. Esta estratégia é uma barreira, ou desestímulo, a novos concorrentes e explica boa parte do comportamento cíclico do negócio petroquímico. O ciclo petroquímico se acirra em situações como as de alta dos preços de petróleo.

No que tange ao campo da tecnologia, mesmo com a maturidade identificada na petroquímica básica, ainda se procura, em linhas gerais, no mundo, se investir nesta área. O autor ressalta que com a intensificação da competição, o direcionamento em P&D, desenvolvendo novos catalisadores e novas aplicações para as resinas, tem sido um dos destaques no ramo dos termoplásticos – a 2ª geração. Além disso, o desenvolvimento da automação industrial tem sido empregada como forma de integrar os diversos níveis de controle e engenharia com sistemas gerenciais, otimizando, com isso, estas duas áreas, além de agregá-las a área gerencial.

Em termos estruturais, o acesso e o preço da matéria-prima (nafta e gás natural) são os principais fatores de competitividade, uma vez que estes materiais representam algo em torno de 80% dos custos variáveis da primeira geração. Além disso, o fator escala tem um forte impacto relacionado à diluição dos custos fixos. A estratégia de expandir a capacidade de produção além da demanda acaba por inserir no negócio petroquímico uma forte instabilidade potencial, que pode, com a falta de mecanismos de estabilização, quando o mercado interno se encolhe, trazer problemas críticos para a rentabilidade das empresas. A alternativa nestas situações, quase sempre está associada à exportação do excedente de produção, o que, freqüentemente reduz as margens dos produtos. A lógica de estruturação dos custos neste tipo de indústria – por se tratar de processos contínuos - leva as plantas industriais a manterem seus custos fixos independente da demanda, o que é um fator que facilita o crescimento nos períodos de margens elevadas e a sobrevivência nos períodos de baixa.

#### ➤ A Petroquímica no mundo

Analisando as estratégias adotadas pelas petroquímicas no mundo, observa-se, segundo Montenegro et al. (2002), a necessidade da busca da integração da cadeia produtiva (do refino à segunda ou terceira geração). Com a integração, é possível se chegar a volumes e custos competitivos no cenário global. Além disso, para as empresas fabricantes de resina, segunda geração, a estratégia da diferenciação é fundamental para busca do equilíbrio entre as necessidades de mercado e capacidade de reação da empresa. Esta diferenciação se dará através da pesquisa de novos catalisadores (produtos utilizados na reação de fabricação dos plásticos e que conferem a estes propriedades diferenciadas). As novas famílias de catalisador têm elevado a classificação dos termoplásticos a *pseudocomodities* e o seu foco tem sido baseado cada vez mais no desempenho da aplicação seguindo as necessidades de performance especificadas pelos clientes.

Já no caso da primeira geração, os petroquímicos básicos, pelo fato de serem vistos como *comodities*, a estratégia a ser adotada está voltada para aumento de eficiência dos processos produtivos e, conseqüentemente, otimização dos custos de produção.

Por fim, na terceira geração, cabe uma forte atenção ao parque de máquinas. O processamento dos termoplásticos deve ser feito de tal forma que se possa produzir maior volume, com menos resina e com espessuras cada vez menores, representando, para o consumidor final, um produto diferenciado e para a segunda geração, uma exigência em P&D, conforme exposto acima.

Em curto e médio prazo, afirmam os autores, vislumbra-se um cenário tecnológico que pode ser considerado como em evolução, esperando-se encontrar produtos com melhores desempenhos e melhor adaptação às condições específicas, ou seja, é esperado encontrar um número cada vez maior de especialidades.

O fator integração da cadeia se apresenta como fundamental aspecto para propiciar a competitividade da cadeia petroquímica. As grandes empresas petrolíferas são integradas com as centrais e, não raro, com as gerações seguintes. Este movimento de integração, ou verticalização, teve início no mundo a partir do final da década de 70 com a França, Itália e Japão, liderando o processo *up-stream* e *down-stream*, seguidos em meados da década de 80 na Alemanha, Inglaterra e Estados Unidos. Em seguida, foi a vez das petroquímicas dos diversos países como México, Canadá, Coréia e Venezuela. O passo seguinte na estratégia destas companhias constituiu-se da internacionalização, ou seja, a aquisição de novas unidades produtivas ou a formação de *joint-ventures* em outros países, o que permitiu ter acesso a matérias primas competitivas, como o caso de gás natural ou da nafta em países do Golfo Pérsico. Além disso, nos períodos de restrição de demanda, permite-se manter o volume de produção em locais onde os custos são mais competitivos e reduzir onde não o são.

Este movimento de reestruturação da indústria petroquímica no mundo contou, em alguns casos com a participação explícita do estado, em outros nem tanto.

Contando ou não com o apoio explícito do governo, o fato percebido é que o movimento de integração da cadeia produtiva da indústria petroquímica, seguida pelos movimentos de internacionalização, têm sido estratégias adotadas pelos principais *players* desta indústria para permanecerem competitivos.

### ➤ A Petroquímica no Brasil (1960 – 1989)

No Brasil, a indústria petroquímica, desde a sua origem foi concebida de forma desintegrada e tendo como único fornecedor de matéria-prima a Petrobrás. Na década de 70, o momento mundial era de elevado consumo de plástico com tendências de crescimento acelerado. O desempenho da indústria neste setor entre 81 e 90, apresentou-se positivo em relação à balança comercial: as exportações nesta época aumentaram cerca de 300%, com volumes de exportação de 34% da produção, em média. Entretanto o ciclo de baixa que ocorreu nos anos 90, associado ao processo de abertura de mercado estimulado pelo governo Collor, trouxe à indústria petroquímica nacional uma queda na sua rentabilidade e, de acordo com Guerra (1993), as empresas começaram a perder patrimônio, suas margens operacionais caíram e o grau de endividamento elevou-se.

Segundo Rodrigues (2003), esta indústria teve sua origem no governo militar, por volta da década de 70. Neste período, foram implantados os pólos petroquímicos de São Paulo, em Santo André no ano de 1972, e na Bahia, em Camaçari em 1978. Na década seguinte, 1982, foi a vez do pólo do Rio Grande do Sul, em Triunfo. As centrais petroquímicas, especialmente a do pólo de Camaçari, a antiga COPENE, foram implantadas no sistema tripartite, segundo o qual 1/3 do capital partiu da iniciativa privada, 1/3 da estatal Petroquisa e 1/3 de uma empresa privada estrangeira, que normalmente possuía o domínio da tecnologia. As empresas situadas nos pólos petroquímicos foram implantadas de forma desintegrada, ou seja, as centrais

petroquímicas não detinham o controle da segunda geração, em outras palavras, cada empresa era considerada uma companhia diferente. A terceira geração foi implantada fora dos pólos petroquímicos e o refino do petróleo, base da cadeia era de domínio exclusivo da Petrobrás.

Um dos principais benefícios da associação com o estado constituiu-se em minimizar os riscos relativos ao abastecimento de matérias-primas, além de forte relacionamento entre as empresas. O autor aponta para a formação da capacidade gerencial, técnica e administrativa dos parceiros nacionais, como o principal resultado do convívio societário entre acionistas nacionais, Governo e companhias multinacionais.

O BNDES teve a participação de agente financeiro, o que permitiu que os empreendimentos nos pólos tivessem escala mundial. E isso só foi possível devido ao rompimento dos limites de endividamento das empresas, principalmente quando concedeu financiamentos com correção monetária abaixo da inflação. Este sistema de financiamento foi considerado amplo, heterodoxo e sofisticado para a época e possibilitou apoio financeiro para as empresas da primeira e segunda geração.

A situação, entretanto, mudou em meados da década de 80, devido a um período recessivo. Nesta época, por um lado, todo o parque industrial petroquímico estava instalado, mas por outro, esgotaram-se a substituição das importações como fonte de dinamismo econômico e a capacidade de endividamento do Estado. O BNDES adotou então a prática de planejamento estratégico, incluindo a elaboração de cenários prospectivos. Esta prática terminou por levar o banco a outra linha de atuação. A necessidade que se verificou à época levava ao aumento de competitividade das empresas brasileiras com o objetivo de se inserir na economia mundial. Para o banco, o planejamento envolveu desestatizar a petroquímica, o que começou a ocorrer no início dos anos 90.

### ➤ A Petroquímica no Brasil (1990 – hoje)

O cenário internacional exerceu uma forte influência nas empresas brasileiras a partir da década de 90. A formação de blocos e adoção de políticas compatíveis com a globalização teve uma forte pressão sobre os países que tinham atuação no mercado mundial. E com o Brasil não foi diferente. Para poder se adaptar a esta nova ordem econômica, o país se viu obrigado a promover a abertura da economia, através da redução tarifária e das barreiras não tarifárias.

No setor petroquímico nesta década, houve uma completa reestruturação e o BNDES desempenhou um papel importante como agente de desenvolvimento.

O Primeiro passo no sentido da reestruturação da indústria petroquímica brasileira rumo a sua competitividade global foi, de acordo com o autor, a implantação do Programa Nacional de Desestatização (PND), cujos objetivos principais foram:

- A redefinição do papel do Governo Federal;
- A redução da dívida do setor público;
- O fortalecimento dos mercados de capitais locais;

E, basicamente, o papel do BNDES, atuando como gestor do PND foi o de:

- Supervisão da atuação de consultores e auditores;
- Garantia da transparência do processo de privatização;
- Recomendação das condições gerais e ajustes prévios;

O processo de privatização do setor teve a sua quase completa consolidação no período compreendendo 92-96, com um total de 27 empresas desestatizadas e aproximadamente R\$3,7 bi envolvidos, incluindo-se aí R\$1 bi referente a transferência das dívidas.

No processo de privatização na Copene, central de matérias-primas, e, portanto representante da primeira geração no pólo petroquímico de Camaçari, ocorreu uma redução da participação do governo federal, através da Petroquisa, uma vez que já havia tido o seu controle

privatizado. As demais centrais, PQU e Copesul, que eram estatais, seguiram o modelo da privatização, tendo a Petroquisa, reduzido a porcentagem do seu capital votante. No final de 2007 a Copesul seguiu o mesmo caminho da Copene e foi incorporada.

Já na segunda geração, também houve um movimento de desestatização, entretanto, em função do modelo tripartite e de acordos firmados com os acionistas, de grupos privados, os seus controladores exerceram o direito de preferência, sendo retirada apenas a participação do governo. A opção do estado foi pela venda isolada do controle das empresas face a estes acordos com os acionistas, fazendo com que as alienações fossem realizadas por pólos e não por blocos.

Para Guerra (2003), a partir do conhecimento da lógica do negócio petroquímico, o governo decidiu manter a participação da Petroquisa no negócio, mesmo de forma minoritária, por achar estratégico que a Petrobrás continuasse neste setor como estatal.

Já no início de 2000, o plano estratégico do BNDES previu duas grandes rotas a seguir: A modernização do setor produtivo e o Desenvolvimento Social.

Na primeira rota, os objetivos, de acordo com Guerra (2003), estavam baseados no estímulo aos investimentos visando apoiar a competitividade do setor e da cadeia, expansão e modernização dos empreendimentos, capacitação gerencial, qualidade e produtividade, atualização tecnológica, incentivo a eco eficiência e outros.

A segunda rota teve por objetivo fomentar investimentos sociais nas empresas, estimulando sua responsabilidade social corporativa.

Não resta dúvida de que com a abertura da economia e a redução das barreiras à entrada do mercado brasileiro, é fator de sobrevivência e busca pela competitividade internacional, focalizando custos compatíveis com o mercado globalizado e considerando as necessidades dos clientes na tomada de decisões de investimentos. Assim, torna-se fundamental o

movimento de integração vertical, porque traz como principal benefício a redução de custos transacionais, além da adequação estrutural da petroquímica.

É fundamental ampliar a capacidade de exportação de bens manufaturados com maior valor agregado de competitividade internacional. A vulnerabilidade da economia brasileira somada ao crescimento de longo prazo acentuadamente baixo dificulta a solução de problemas sociais e econômicos como a concentração de renda, desemprego, desequilíbrios regionais e pobreza. A globalização renovou a competitividade permanentemente. Uma das características dos produtos de alta tecnologia baseia-se no fato de que eles participam de outras cadeias produtivas, razão pela qual sua importância, além de econômica, torna-se também estratégica. (IEDI, 2002).

Outro fator complicador desse cenário reside na alta significativa do preço internacional do petróleo. A Figura 1 ilustra a evolução do preço do barril de petróleo, além dos principais fatos relevantes associados ao cenário geopolítico e o aumento significativo dos últimos 4 anos.

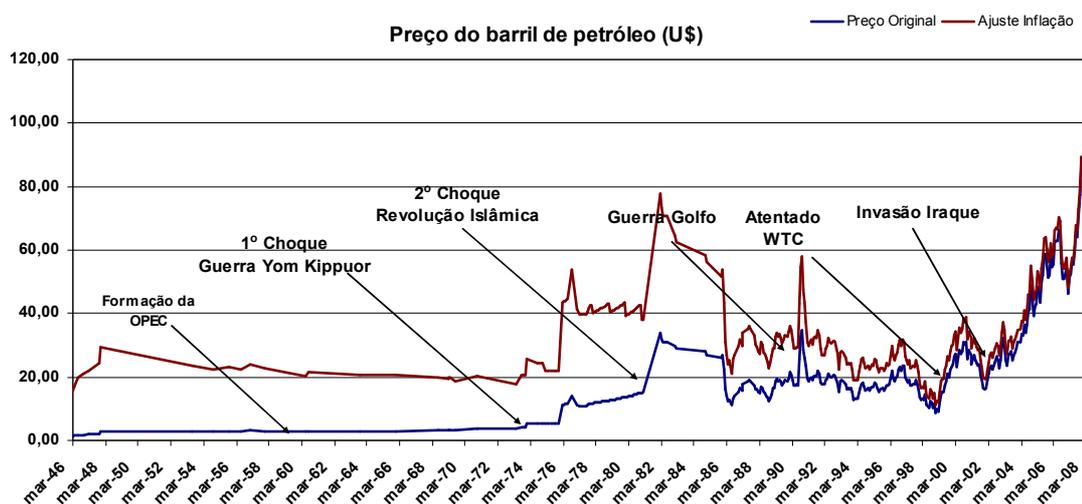


Figura 1 - Evolução do preço do barril de petróleo (Fonte: bloomberg.com - 2008)

Essa tendência de aumento dos preços tem colocado a indústria petroquímica num novo desafio: continuar competitiva, principalmente frente aos produtos substitutos como vidro, papel e metalúrgicos.

No Brasil, a indústria química e petroquímica tem papel de destaque no desenvolvimento das diversas atividades econômicas do país, participando ativamente de quase todas as cadeias e complexos industriais. De acordo com a ABIQUIM (2007) as exportações brasileiras de produtos químicos somaram US\$ 10,7 bilhões no ano passado, apresentando crescimento de 19,6% em relação a 2006. A média das exportações brasileiras de produtos químicos foi de US\$ 891,6 milhões por mês e a média das importações ficou próxima a US\$ 2,0 bilhões. Os produtos químicos representaram 6,6% de todas as exportações realizadas pelo Brasil em 2007. Os principais destinos das exportações brasileiras de produtos químicos em 2007 foram os demais países do Mercosul (Argentina, Paraguai e Uruguai), que importaram mais de US\$ 2,8 bilhões; Estados Unidos, Canadá e México, com compras superiores a US\$ 2,1 bilhões, e a União Européia, que importou US\$ 1,9 bilhão em produtos químicos fabricados no Brasil.

Em volume, foram exportadas pelo País 10,3 milhões de toneladas em produtos químicos. Essa movimentação representa aumento de 8,5% na comparação com 2006. Comparando com os Estados Unidos (maior indústria química e petroquímica do mundo), a participação no PIB é de cerca de 2%. Considerando-se a matriz industrial do Brasil, este setor ocupa a segunda posição, com quase 13% do PIB da indústria de transformação, atrás apenas do setor de alimentos e bebidas, que tem cerca de 15% do total.

O faturamento líquido da indústria química brasileira em 2003 subiu 21%, atingindo a cifra de US\$ 45,3 bilhões. Quando medido em reais, o faturamento apresentou elevação de cerca de 28%, passando de R\$ 108,9 bilhões em 2002 para R\$ 139,4 bilhões em 2003. Destacam-se, principalmente, os derivados da nafta petroquímica e do gás natural. Em 2003, as exportações brasileiras de produtos químicos estabeleceram um novo recorde ao somarem US\$ 4,8 bilhões, 25,41% mais do que o total exportado no ano anterior. Os produtos químicos de uso industrial responderam por 86% das vendas externas no ano, alcançando US\$ 4,1 bilhões. (BAHIAINVEST, 2005a).

Na Bahia, o setor Químico e Petroquímico é um dos mais importantes de sua economia. É responsável por 35% da produção industrial do Estado, além de representar 18% dos investimentos privados na Bahia. Foram realizados investimentos para o setor, até 2007 de cerca de 4 bilhões de reais, um total de 74 projetos, segundo dados da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI).

O Pólo Petroquímico de Camaçari é o maior complexo integrado do Hemisfério Sul, sendo resultado de R\$ 10 bilhões de investimentos, respondendo por um terço das exportações do Estado e por quase metade do valor da produção industrial. (BAHIAINVEST, 2005a).

Um dos principais critérios para a escolha da Bahia como local de investimento na área química e petroquímica está na infra-estrutura existente no Estado. Ele está localizado em posição estratégica em relação aos mercados da Europa e dos Estados Unidos.

A proximidade entre os produtores das principais matérias-primas do setor, especialmente com a Refinaria Landulfo Alves (RLAM), permite uma maior agilidade dos sistemas produtivos e constitui uma vantagem competitiva do Estado.

O Pólo Petroquímico de Camaçari também fez investimentos em qualificação profissional. Em parceria com universidades, manteve cursos de mestrado e doutorado em química e em engenharia química, elétrica e mecânica, ofereceu bolsas de estudo para universitários e desenvolveu programas de estágio em suas empresas.

O Pólo Petroquímico de Camaçari possui disponibilidade de mão-de-obra, matérias-primas e utilidades (como água, vapor, energia elétrica e um amplo sistema de distribuição de gás natural), programa de tratamento de efluentes e uma logística desenvolvida, que inclui duas opções de portos, Aratu e Salvador.

Algumas empresas do Pólo possuem terminais privativos. A empresa em estudo, por exemplo, utiliza o Porto organizado de Aratu (público) e dutovias de ligação com a Refinaria Landulfo Alves (RLAM) para receber a parte de nafta fornecida pela Petrobras (60-70%). A nafta

importada chega pelo Porto de Aratu e as exportações de produtos também utilizam o Porto de Aratu.

As expedições para outros Estados utilizam o modal rodoviário, a cabotagem pelo Porto de Aratu e está se iniciando o envio de petroquímicos para Paulínia por ferrovia.

A economia baiana tem crescido e se diversificado nos últimos anos, apresentando taxas de expansão da sua produção cada vez mais expressivas. O Estado tem passado por um importante processo de re-ordenamento setorial, que resulta na importância de segmentos modernos e competitivos. A consolidação de atividades econômicas e a implantação de novos empreendimentos, especialmente a partir do ano 2000, vêm resultando, sem dúvida alguma, na intensificação desse movimento. (BAHIAINVEST, 2005b)

#### ➤ Principais conseqüências

Embora ainda que atrasada em relação aos seus competidores mundiais a indústria petroquímica brasileira, deu um importante passo para viabilizar a sua participação no mercado internacional. A formação da empresa estudada neste trabalho deve, segundo os estudos realizados, acelerar o processo de reestruturação da petroquímica brasileira. O intento estratégico da empresa de se tornar uma das dez maiores petroquímicas do mundo trará certamente muitas vantagens para o país e, espera-se, para a Bahia, uma vez que a concentração das empresas é maior neste estado do que nos outros pólos. Entretanto, o caminho ainda é longo e o fato desta reestruturação ter se iniciado com, pelo menos, dez anos de atraso, em relação ao resto do mundo, não deixa muita margem de “conforto”.

Autores como Guerra (1993) sugerem duas alternativas para se atingir este objetivo: a primeira diz respeito a estabelecer parcerias com a Petrobrás visando a instalação de uma indústria “nafteira”, o que traria bons resultados para ambas as indústrias, uma vez que esta empresa produziria a nafta para a segunda geração e combustíveis e diesel para a Petrobrás. A segunda alternativa, que foi parcialmente adotada pela empresa, constitui-se do abastecimento

exterior de nafta, o que só foi possível acontecer a partir dos investimentos realizados na estrutura de recebimento de matérias-primas, realizado pela empresa e da flexibilização do monopólio do petróleo ocorrido a partir do início deste milênio.

Entretanto, ainda que estes passos sejam tomados em conjunto, há de se pensar em duas alternativas importantes para este processo de competitividade: acesso à tecnologia de gás natural (de preço mais acessível) e/ou acesso prioritário à nafta com preços mais competitivos. Ambas as alternativas remetem ao desenvolvimento de um processo de internacionalização da petroquímica brasileira – através de aquisição ou *joint-ventures* - sem o qual estas alternativas se tornariam inviáveis ou, pelo menos, mais difíceis de realizarem.

Do ponto de vista dos clientes, ainda se poderia esperar a integração com a terceira geração – transformação dos termoplásticos – o que traria ainda mais oportunidades em termos de sinergias e valor agregado aos produtos. Neste sentido, o projeto “Amazon” desenvolvido pela Ford no pólo petroquímico de Camaçari, além de outros empreendimentos como os pólos têxtil, de calçados e confecções, e também o projeto Bahiaplast, se apresentam como oportunidades interessantes para se verticalizar ainda mais a indústria.

Para que os países cresçam, desenvolvam-se e criem empregos não basta que o governo se concentre na formulação de sólidas condições macroeconômicas, na flexibilidade do mercado de trabalho, na remoção de barreiras tarifárias. A política industrial se tornou de fundamental importância no cenário mundial. A política industrial nos países da Organização do Comércio e Desenvolvimento - OCDE não mais se resume a subsidiar ou proteger empresas e indústrias das pressões para o ajustamento.

O objetivo da política atual deve ser incentivar o aumento da eficiência do mercado e promover instituições de melhor desempenho, mais do que intervir diretamente em seu funcionamento. O desafio é criar uma estrutura econômica forte e abrangente para

proporcionar regras coerentes e confiáveis, além do desenvolvimento de tecnologias e inovação locais.

As indústrias embasadas no conhecimento não apenas estão crescendo em importância, como a tecnologia moderna está se tornando um fator de produção cada vez mais decisivo em amplo espectro industrial, incluindo muitas indústrias de baixa e média tecnologia. Como o desenvolvimento sem precedentes das tecnologias da informação e da comunicação, a informação está se difundindo a um ritmo mais veloz do que qualquer outra época, tanto dentro dos países quanto no mercado externo. A globalização é uma expansão transnacional sob a forma de fluxos de comércio, investimento e tecnologia.

A política industrial não vai de encontro com a estabilidade inflacionária e o controle das finanças públicas. Países desenvolvidos demonstram crescimento industrial e preservam a estabilidade.

No Brasil, há graves problemas na educação básica e superior, na infra-estrutura, na pesquisa e desenvolvimento tecnológico. O custo de capital é muito elevado, a estrutura tributária subtrai a competitividade da produção nacional e o mercado de trabalho carece de flexibilidade. É preciso incentivar os setores de base tecnológica, suas cadeias de insumos e componentes, e atividades de P&D onde são desenvolvidas novas tecnologias e a inovação de processos e produtos.

Deve-se buscar um desenvolvimento regional para se potencializar as vocações regionais e dinamizar o emprego industrial em regiões de menor desenvolvimento.

Por fim, um ponto importante que se deve ter em mente num quadro de disputa pelo mercado petroquímico, especialmente no mercosul, é o da necessidade de aprofundamento deste processo de reorganização da indústria brasileira, propiciando a integração, sinergias e investimentos em P&D. A concentração torna-se, então, uma tendência inevitável e desejável. Entretanto, é importante notar que com este processo e a conseqüente redução da

concorrência local, pode-se resultar em perda de eficiência. Daí a necessidade de se estabelecer mecanismos de pesquisa e *benchmarking* de melhores práticas e performances no mundo – o que a mantém em permanente estado de desenvolvimento e implantação de melhoria de desempenho – o que, para esta indústria se percebe principalmente através da utilização da capacidade instalada e da redução dos custos de produção. Entretanto, devido ao atraso na reestruturação, a indústria petroquímica brasileira ainda está apresentando segundo a perspectiva de Prahalad e Hamel (1995), uma postura reativa, procurando reduzir a sua distância em relação aos competidores mundiais. Além disso, ainda muito pouco se ouve falar nas tendências deste negócio para os próximos 20 ou 30 anos. Devido à sua natureza e às pressões da sociedade por produções cada vez mais limpas e pouco agressivas ao meio ambiente, há de se esperar que muitos paradigmas operacionais e do próprio negócio sejam quebrados ao longo dos próximos anos.

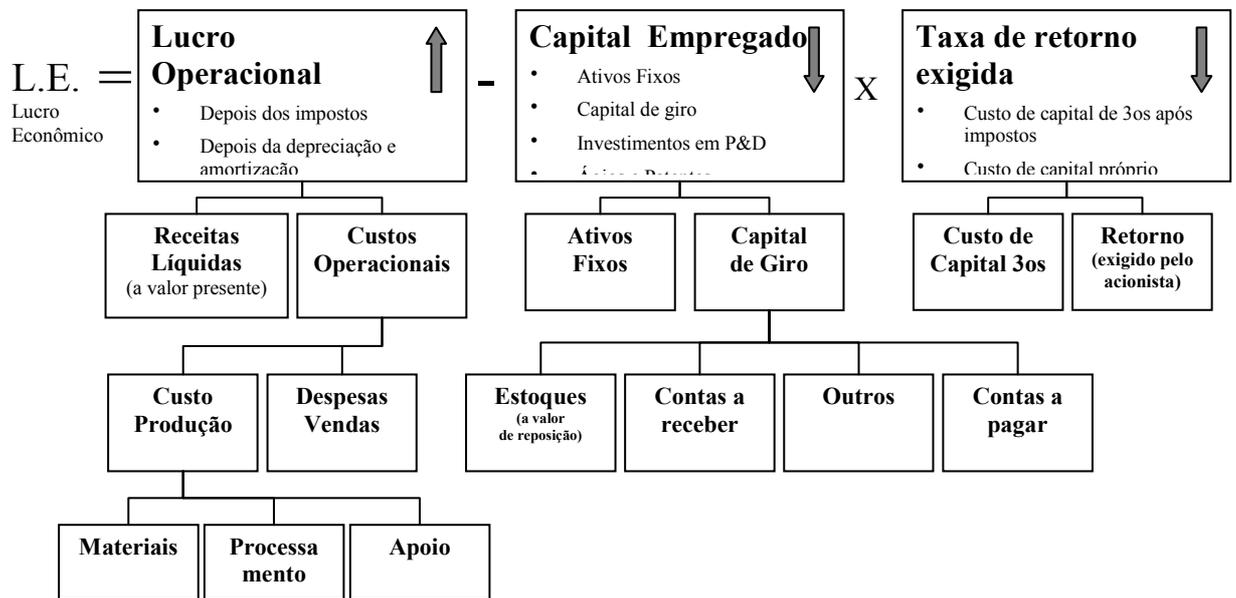
## **2.2 Geração de riqueza pela inteligência gerencial**

De acordo com Whaba (2002) existem poucos problemas, principalmente na realidade do ambiente econômico que se vive, que exercem maior ameaça às empresas do que custos incontrolados. O autor sugere que até mesmo para aquelas empresas tidas como referência por sua excelência, pode-se perder dinheiro de forma significativa se não se dispuser de uma sistemática eficaz que possibilite: verificar a real rentabilidade de produtos e serviços; identificar custos de atividades que não agregam valor; apontar para os verdadeiros geradores de custo da não qualidade; focar os custos de toda a cadeia de valor.

Com isso, o autor defende que, ao mesmo tempo em que a empresa define e formula a sua estratégia empresarial, ela deve também, identificar e implantar sistemáticas que possam demonstrar melhor todos os custos, para que o gestor possa focar os mais prejudiciais ao desempenho do negócio.

Sob a perspectiva da operação, para que sejam atendidos os objetivos de rentabilidade, há de se gerar dinheiro suficiente para, após o pagamento dos tributos: pagar os juros dos empréstimos; distribuir dividendos que sejam condizentes com o risco que o acionista está tomando e a taxa de juros que ele poderia obter aplicando o dinheiro numa instituição financeira segura; reinvestir a depreciação em ativos ou na redução das dívidas contraídas com o objetivo de manter o valor do capital investido pelo acionista. Além disso, o autor reforça uma perspectiva importante: deve-se ter sempre em mente que o investimento em ativos deve ser feito apenas quando se tem a certeza de que eles proporcionarão durante e após um certo período, o retorno esperado pelo acionista. Essa perspectiva será a base utilizada por Suzuki (1994) em seu modelo de identificação de perdas.

No modelo sugerido por Whaba (2002), a empresa deve buscar visualizar a estruturação do seu modelo de lucro econômico segundo estabelecido abaixo na Figura 2:



**Figura 2** - Modelo esquemático do Lucro Econômico para identificar pontos de atuação para aumento de valor ao acionista. (Fonte: WAHBA, 2002, p. 52)

Este modelo, segundo o autor, deve orientar as ações dos gestores em seus planos estratégicos de forma a maximizar o Lucro Econômico. Em outras palavras, maximizar o lucro operacional e minimizar o Capital Empregado e a Taxa de Retorno Exigida. Na prática,

o lucro operacional é onde o gestor de operações possui maior domínio e onde tem maior poder de influência. Em termos de capital empregado, o foco parece ser ampliar a utilização dos ativos disponíveis mantendo-os segundo as condições de projeto. Os investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) deverão ser mantidos, utilizando-se, porém o alinhamento com as estratégias de negócio. Por fim, pouca ou nenhuma gestão se tem sobre a taxa de retorno exigida, a exceção de alianças estratégicas, incluindo influências econômico-políticas que possam viabilizar a redução desta variável, o que nem sempre depende apenas do gestor.

O autor conclui o seu modelo indicando que a gestão tem a complexa tarefa de montar a estrutura de capital de forma a equacionar capital próprio versus possibilidade de captação de empréstimos a baixo custo, de maneira a ter um custo de capital menor do que o concorrente, que será um dos enfoques da operação financeira. Por fim, embora essa abordagem envolva certo nível de complexidade, não resta dúvida, para o autor de que o enfoque financeiro deva ser a base para implementação de uma organização que cria riqueza para o acionista, garantindo dinheiro para investir em capital intelectual: talentos, conhecimentos e competências, como a única forma de crescer e vencer no ambiente de negócios.

### 2.3 As Perdas na Indústria

Shingo (1996) estabelece que a produção é uma rede de processos e operações com o objetivo de transformar matérias-primas e insumos em produto acabado. O processo pode ser visualizado como um fluxo de materiais no tempo e no espaço. Já as operações podem ser visualizadas como um trabalho realizado para efetivar essa transformação, ou seja, representa a interação do fluxo de equipamento e operadores no tempo e no espaço. Segundo o autor, a análise das operações examina o trabalho realizado sobre os produtos pelo operador e pela máquina. Já a análise do processo examina o fluxo de material ou produto.

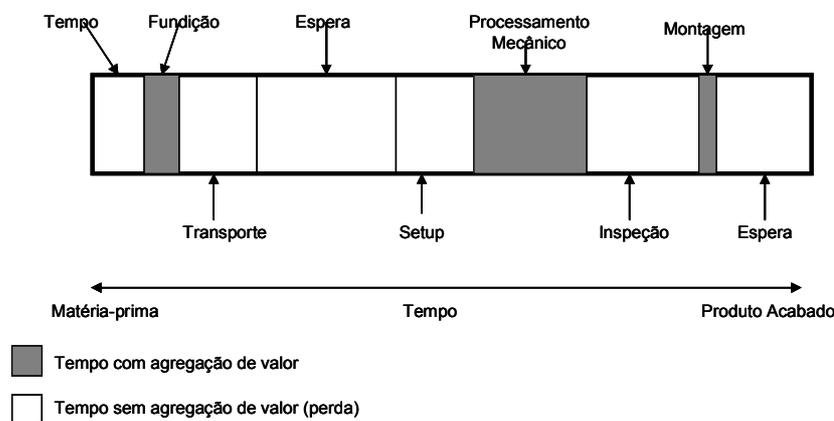
Para realizar melhorias significativas no processo de produção, Ohno (1997), recomenda a distinção entre o fluxo de produto (processo) e o fluxo de trabalho (operações) e analisa-las separadamente. Para o autor, os processos podem ser melhorados de duas maneiras: a primeira consiste em melhorar o produto em si, através da engenharia de valor – onde se questiona basicamente a melhor forma de redesenhar o produto de maneira a manter a qualidade e reduzir o custo de fabricação; a segunda forma consiste em melhorar os métodos de fabricação do ponto de vista da engenharia de produção ou da tecnologia de fabricação. Nesse caso, a questão a ser respondida está voltada para como a fabricação de um certo produto pode ser melhorada.

O passo inicial para realizar uma melhoria de processos, de acordo com Imai (1996), é identificar de forma sistemática as fontes de perda. A premissa do autor é que cada processo deve acrescentar valor ao produto e, em seguida, enviá-lo ao próximo processo. Perdas, nesse caso, referem-se a qualquer atividade que não adiciona valor ao produto. Liker (2005) sugere a adoção das métricas adotadas pelo Sistema de Produção da Toyota onde as perdas são classificadas em sete categorias:

- ✓ Perda por excesso de produção: Produção de itens para os quais não existe demanda, gerando perdas com uso de mão de obra, material e impacto em estoques.
- ✓ Perda por excesso de estoque: Expresso em matérias-primas, produto em processo ou produto final, gerando impacto no custo de capital. Além disso, o excesso de estoque esconde problemas como desbalanceamento da produção, ineficiências dos fornecedores, defeitos e outras fontes de perdas.
- ✓ Perda por refugo ou re-trabalho: Consertar, re-trabalhar, descartar ou substituir a produção significa perdas em manuseio, tempo e esforço.

- ✓ Perda por excesso de movimento: Qualquer movimento desnecessário ou inútil, tais como procura de peças ou sistemáticas é considerado perda.
- ✓ Perda por excesso de processamento: Passos ou atividades desnecessárias para a produção, podem, além de gerar perdas, causar defeitos nos produtos.
- ✓ Perda por excesso de espera: Espera por próximos passos, material ou sistemáticas geram perdas na utilização da capacidade máxima do ativo.
- ✓ Perda por excesso de transporte: Movimento de estoque em processo por longas distâncias, criação de transporte ineficiente ou movimentação de materiais, peças ou produtos acabados para dentro ou para fora do estoque ou entre passos do processo, é considerado perda.

O autor exemplifica, no modelo exposto na Figura 3, onde essas perdas podem estar localizadas e como podem desagregar valor do produto fabricado.



**Figura 3** - Modelo esquemático de perdas num sistema de valor. (Fonte: Liker, 2005, p. 49)

O autor conclui que o tempo no processo produtivo como o exposto no modelo é somente uma pequena porcentagem do tempo total. Além do mais, continua, “a tradicional economia de custos concentra-se apenas nos itens que agregam valor”. Assim, um sistema produtivo sofisticado, deve concentrar-se em apoiar e estimular as pessoas para que continuamente melhorem os processos com os quais trabalham, visando a eliminação de perdas.

Imai (1996) relata que além da identificação das perdas potenciais e do envolvimento das equipes para a melhoria contínua dos processos, um fator crítico de sucesso está relacionado ao treinamento das pessoas. Segundo sua experiência, três ensinamentos puderam ser transmitidos ao longo de gerações de gerentes japoneses:

- ✓ A importância das relações humanas e do envolvimento das pessoas, o que frutificou no Japão a formação dos círculos de controles de qualidade e no desenvolvimento de facilitadores internos.
- ✓ A metodologia e o valor da melhoria contínua dos processos e produtos, que foi a marca dos sistemas japoneses e que ajudou os gerentes e supervisores a revisar e melhorar os seus processos de trabalho.
- ✓ A abordagem científica e racional baseada no PDCA (*Plan-Do-Check-Act* – Planejar-Fazer-Verificar-Agir) que ajudou a instilar profundamente a mentalidade dos executivos japoneses.

## 2.4 Árvore de Perdas – Identificando as oportunidades

Segundo Imai (2000), o TPM é um método de gestão que busca identificar e reduzir as perdas existentes no processo produtivo, aumentar a utilização do ativo industrial existente e melhorar a qualidade de produtos a custos competitivos. Também ajuda a desenvolver conhecimentos capazes de reeducar as pessoas para ações de prevenção e melhoria contínua, garantindo o aumento da confiabilidade dos equipamentos e a capacidade dos processos sem a necessidade de investimentos adicionais.

De acordo com Sakaguchi (2001), o foco inicial do TPM baseava-se na melhoria das atividades de produção. A partir de 1989, essa visão foi estendida para incluir melhorias em todos os processos da empresa. O foco da atuação do TPM tem mudado do equipamento para o sistema de produção como um todo. As atividades de redução e previsão das perdas latentes

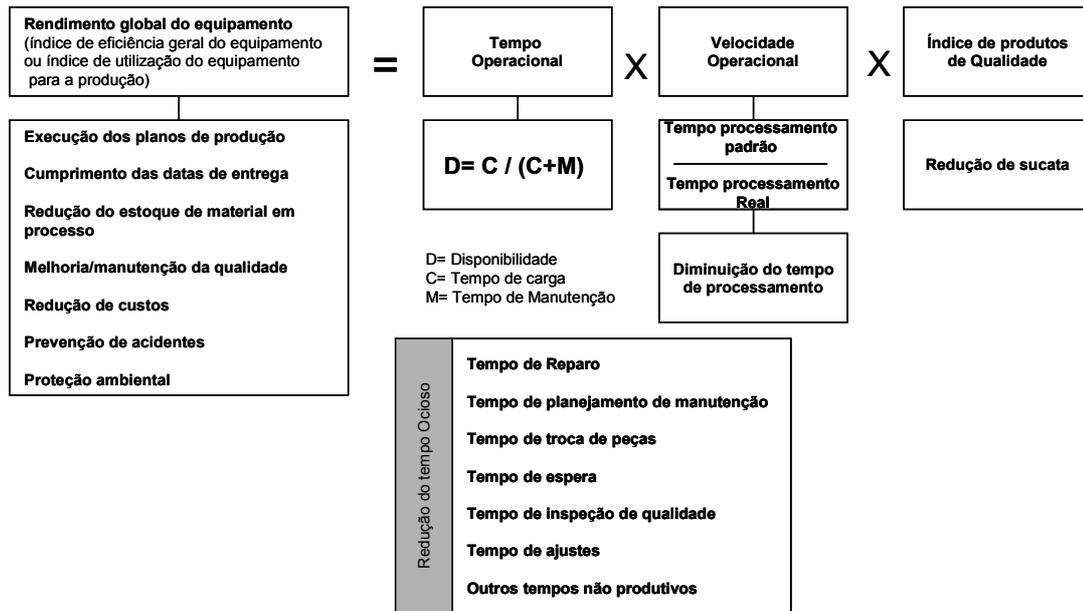
do equipamento tem evoluído para redução e previsão das perdas no sistema de produção como um todo.

Sendo assim, as atividades do TPM têm sido valiosas pela eliminação dos fatores que impossibilitam a redução de custos dos produtos e, conseqüentemente, dos fatores que reduzem ou impedem o lucro (SAKAGUCHI, 2001).

Neste sentido, o TPM vem sendo uma sistemática indispensável para a criação de um sistema lucrativo de práticas corporativas e de negócio (SAKAGUCHI, 2001).

Para Suzuki (1994), no âmbito da gestão das operações, os custos normalmente atribuídos são compostos pelas despesas com material, pessoal, gastos com contratações de terceiros, despesas com materiais de consumo, despesas com materiais de aplicação e os investimentos necessários a atualização tecnológica.

Já segundo Takahashi e Osada (1993), deve-se investigar a eficiência dos ativos produtivos segundo a utilização da sua capacidade de projeto e segundo os índices de qualidade dos produtos gerados. Assim, para diagnosticar as perdas reais de um ativo produtivo, deve-se atentar para alguns indicadores como: índice de utilização, tamanho do estoque de material acabado, material em processo e demais índices de utilização de material na linha de produção. Os autores propõem o modelo exposto na Figura 4 para verificação do rendimento global do equipamento.



**Figura 4** - Rendimento Global do equipamento. (Fonte: Takahashi e Osada, 1993, p. 45)

Para os autores, caso se deseje questionar e desafiar os dados gerenciais de forma apropriada, no que se refere ao gerenciamento da qualidade, à utilização do equipamento, aos materiais em processo ou aos custos, é necessário estar totalmente familiarizado com as metas estatísticas e suas referências. De modo geral, segundo essa perspectiva, as fábricas lucrativas não necessariamente possuem os equipamentos mais novos. Ao contrário, as mais antigas, se bem geridas podem agregar maior valor aos acionistas, uma vez que não pagam encargos de juros e amortizações. Muitas reduções de custos de processamento foram sendo obtidas através de um número significativo de inovações parciais procurando-se explorar ao máximo as formas de utilização dos ativos existentes (TAKAHASHI e OSADA, 1993).

Para Carrijo (2001) as perdas relacionadas à manutenção e operação, oriundas da indisponibilidade operacional, da vazão não otimizada, dos re-trabalhos e refugos, dos gastos com energia e demais utilidades, muitas, assim como as perdas com os insumos no processo produtivo são, via de regra, significativamente maiores e pouco analisadas, pelo menos de forma sistemática.

Uma ação gerencial eficaz passa pelo desenvolvimento e implantação de um sistema que consiga maximizar a relação benefício / custo da atividade de manutenção e operação para se identificar e quantificar das perdas, sendo útil para auxiliar o processo de análise e melhoria da eficiência interna dos processos produtivos, além da busca de oportunidades de melhoria que terão impacto no resultado operacional da empresa (NAKASATO, 1996)

Portanto, a obtenção de elevados padrões de qualidade e produtividade requer o tratamento adequado dos potenciais de melhoria de desempenho dos ativos industriais, onde se inserem:

- A avaliação sistematizada das perdas do processo produtivo;
- O cálculo do Índice de Eficiência Global (IEG) e a determinação dos *gaps* em relação a referenciais internos e externos de desempenho;
- O estabelecimento de referências internas e o cálculo para as outras perdas não consideradas no IEG;
- O direcionamento eficaz dos recursos disponíveis, uma vez identificadas as principais oportunidades de melhoria no processo produtivo.

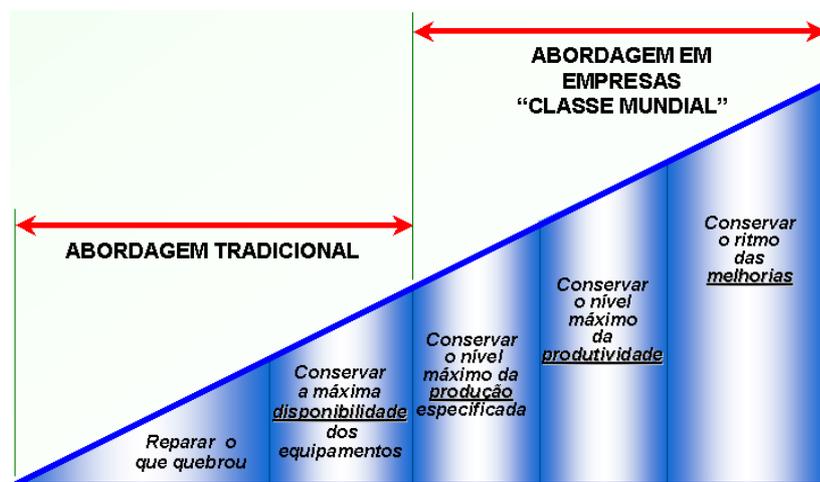
Suzuki (1994) considera alguns dos princípios aplicados em empresas classificadas como “Classe Mundial” para a avaliação das principais perdas do processo de produção.

No tocante à gestão de ativos industriais, significa perseguir continuamente a “Perda Zero” e o “Defeito Zero”, através da eliminação de desperdícios, melhoria da qualidade e produtividade, além da busca pelo “Acidente Zero”.

Nesse ambiente, Suzuki (1994) considera a ampliação do sentido da palavra "manutenção" que passa a ser relativa a todo o processo produtivo. Significa, portanto, manter a máxima produtividade, focalizando as perdas totais do processo e não apenas a integridade e confiabilidade dos ativos industriais.

Além disso, visando assegurar a sobrevivência das empresas num contexto de mercado globalizado, um papel adicional cabe à função da gestão das operações, qual seja, a de manter a máxima agilidade na identificação e implementação de melhorias.

A Figura 5 diferencia a abordagem tradicional das empresas, onde se apresenta uma postura reativa frente aos problemas, daquelas classificadas como Classe Mundial, onde através das suas práticas pró - ativas atinge resultados em nível diferenciado do resto da indústria.



**Figura 5** - Diferença entre a abordagem tradicional e “Classe Mundial” na gestão das operações. (Fonte: Manual de Gerenciamento da Manutenção e Confiabilidade 2005, pág 3 cap 6)

Para Suzuki (1994) apud Carrijo (2001), a empresa deve empregar o IEG como indicador de desempenho de um equipamento, linha de produção ou um sistema operacional em termos de disponibilidade, capacidade e qualidade, resultando numericamente no produto destes três fatores. É, portanto a relação entre o volume de produção especificado obtido e a máxima produção possível num determinado intervalo de tempo. As principais perdas do processo produtivo são expressas pelo IEG, conforme descrito a seguir.

- *Perdas relativas a Paradas Programadas*

Representam todas as perdas relacionadas aos tempos de paradas programadas de manutenção, bem como aqueles requeridos por requisitos operacionais (limpezas, etc.) e outros de natureza intrínseca ao processo produtivo, tal como a troca de catalisadores.

Indústrias de processo usualmente funcionam em regime contínuo ou em bateladas por períodos relativamente longos de operação, alternados com paradas para revisão geral dos equipamentos e realização de inspeções, podendo as mesmas ser de caráter voluntário ou legal.

Em ambos os casos tais períodos são essenciais para manutenção do desempenho da planta, bem como para o atendimento aos requisitos de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (SSMA). Entretanto, a maximização do desempenho requer o tratamento dos tempos de paradas programadas como sendo efetivamente perdas, devendo-se buscar a sua minimização.

- *Perdas relativas a Ajustes de Produção*

São os tempos perdidos correspondentes a ajustes no plano de produção devido a problemas de demanda ou elevação de estoques/inventário causados por fatores de mercado, e que de certa forma, não são totalmente controláveis pelas empresas. Entretanto o IEG pode ser incrementado através da manutenção de uma forte liderança de mercado em qualidade, custo, e tempo de fornecimento, além da busca de estímulo contínuo do mercado pelo desenvolvimento de novos produtos.

Outros fatores externos tais como o suprimento de matérias-primas e/ou utilidades (falta de energia elétrica, por exemplo) são também aqui considerados como variáveis que têm impacto sobre o cálculo do IEG.

- *Perdas relativas a Falhas de Equipamentos*

Correspondem aos tempos perdidos quando a planta interrompe a produção de forma inesperada, devido à ocorrência de falhas funcionais de determinados equipamentos. Falhas em bombas, queima de motores elétricos, mancais danificados, falhas de instrumentação de processo, entre outros, são exemplos de causadores dessa natureza de perda.

- *Perdas relativas a Falhas Operacionais*

Correspondem aos tempos perdidos quando a planta interrompe a produção como resultado de fatores externos aos equipamentos, tais como erros operacionais ou mudanças nas propriedades físicas ou químicas das substâncias em processamento. Vazamentos, obstruções, entupimento de tubulações, sobrecarga dentre outros problemas são exemplos típicos de Falhas Operacionais.

- *Perdas em Produção Normal*

São perdas que ocorrem em operação normal, relacionadas com a taxa de produção durante as paradas e partidas (*warm-up/cool-down*) e mudanças de especificação ou *grades* de produtos (*set-up*). A taxa de produção de referência em plantas de indústrias de processo usualmente não é atingida nos referidos períodos, eventos estes que devem ser tratados efetivamente como perdas.

- *Perdas Relativas a Produção Anormal*

São perdas relacionadas com a taxa de produção, e que ocorrem como resultado de mau funcionamento ou outras condições anormais, impedindo o cumprimento da taxa de produção de referência.

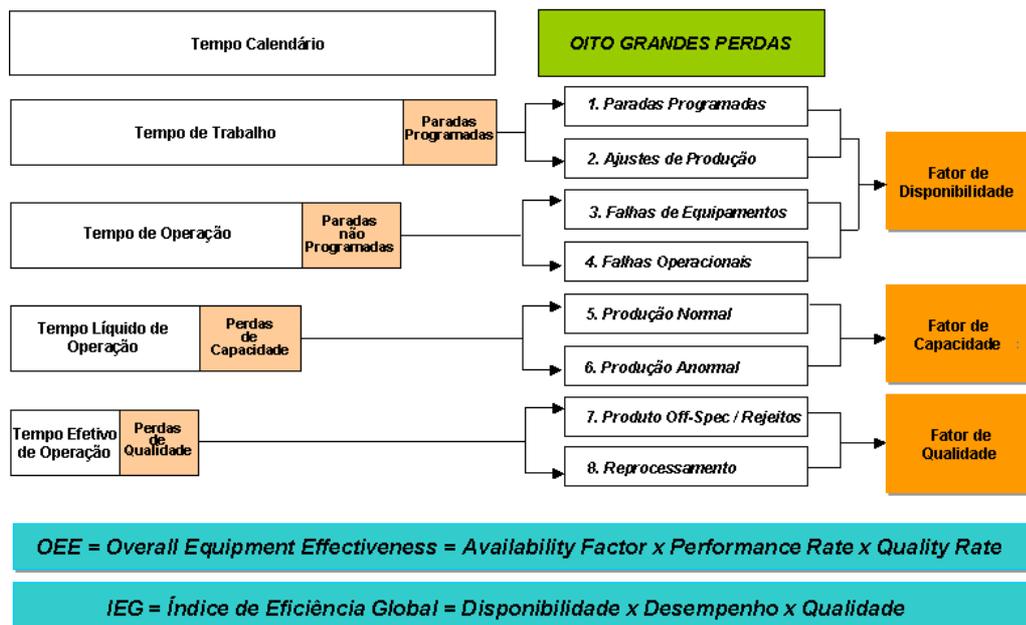
- *Perdas Relativas a Produção Off-Spec / Rejeitos*

Ocorrem quando da produção de produto fora de especificação (*off-spec*), produção de rejeitos e perdas financeiras pela venda de produto a preços inferiores devido ao não atingimento dos requisitos de qualidade estabelecidos pelos clientes.

- *Perdas Relativas a Reprocessamento*

Representam as perdas devido ao reciclo de produto fora de especificação e/ou rejeitos em etapas intermediárias do processo produtivo, visando o seu enquadramento na especificação requerida. Além das perdas diretas pela ocupação de parte da capacidade produtiva da planta, o reprocessamento também representa perda de insumos, energia elétrica e demais utilidades, além de outros custos operacionais variáveis.

A Figura 6, ilustra a estruturação do conceito das principais perdas do IEG.



**Figura 6** - Estrutura dos tipos de perda para o cálculo do IEG. (Fonte Takahashi e Osada 1993, p 52)

Para se calcular os fatores e o respectivo Índice de eficiência Global de um ativo, basta proceder da seguinte forma:

$FD = TO/TC$  onde: FD = Fator de Disponibilidade / TO = Tempo de operação e TC = Tempo Calendário

$FC = TLO / TO$  onde: FC = Fator de Capacidade / TLO = Tempo Líquido de operação e TC = Tempo de Operação

$FQ = TEO / TLO$  onde: FQ = Fator de Qualidade / TEO = Tempo Efetivo de Operação e TLO = Tempo Líquido de operação

$IEG = TEO / TC$  onde: IEG = Índice de Eficiência Global / TEO = Tempo Efetivo de Operação e TC = Tempo Calendário

Assim, para Sakaguchi (2001), o IEG representa um importante indicador para avaliar o quanto um ativo industrial está sendo utilizado de forma eficiente. Esse indicador, quando associado a aspectos econômicos como a margem de contribuição do produto principal gerado pela planta industrial, fornece aos gestores fortes evidências das perdas econômicas ligadas quer seja a ineficiências da manutenção e operação, quer sejam ineficiências comerciais ou de suprimento. Com isso, ações estratégicas podem ser direcionadas para redução ou eliminação dessas perdas.

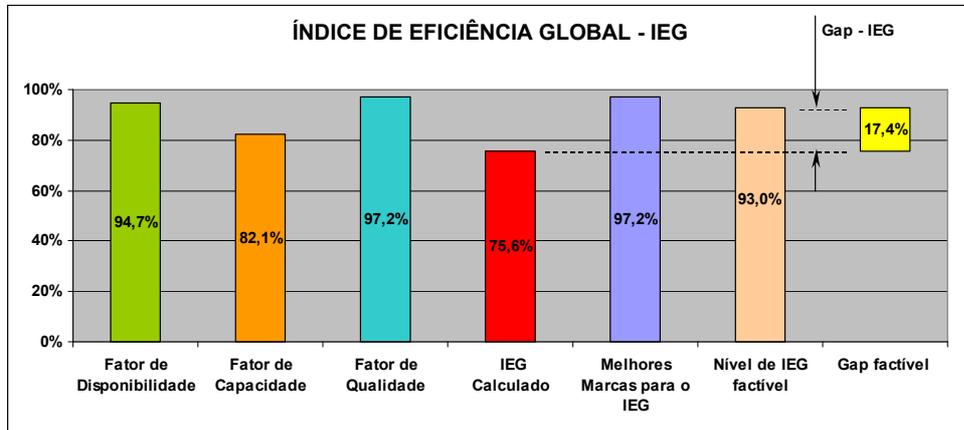
#### **a. Referenciais utilizados para o cálculo do IEG**

O ponto crucial, defendido por Robinson e Ginder (1995), na determinação de potenciais de melhoria do IEG está relacionado a disponibilização de referenciais (*benchmarks*) consistentes para efeito de comparação e identificação de *gaps* de desempenho. Para uma determinada planta significa, portanto obter os seguintes valores:

- Fator de Disponibilidade
- Fator de Capacidade
- Fator de Qualidade
- IEG atual da planta

- IEG de referência (melhores marcas)

A Figura 7 demonstra graficamente a estruturação destes fatores, que comporão os principais grupos de perda.



**Figura 7** - Fatores utilizados para o cálculo do IEG. (Fonte Manual de Gerenciamento da Manutenção e confiabilidade 2005, pág 5, cap.6)

O IEG calculado indicado na figura 8 deve ser obtido, para efeito de comparação com referenciais externos, da seguinte forma:

- Cálculo do IEG Global, levando-se em consideração todos os elementos da estrutura de perdas;
- Exclusão dos fatores que influenciaram o IEG por problemas de mercado/ vendas, uma vez ser esta uma premissa sobre a qual os referenciais externos são compilados;
- Anualização do efeito das paradas programadas, também pelo mesmo motivo acima.

Uma vez conhecido o *gap* total para o IEG (comparado com o valor indicado para as melhores marcas), deve ser estabelecido o nível de IEG factível de ser obtido num horizonte de 3 a 5 anos, devidamente consensado com as áreas envolvidas, buscando-se desta forma focalizar as ações de melhoria no curto e médio prazo, passando a fazer parte dos respectivos programas de ação de cada um dos envolvidos.

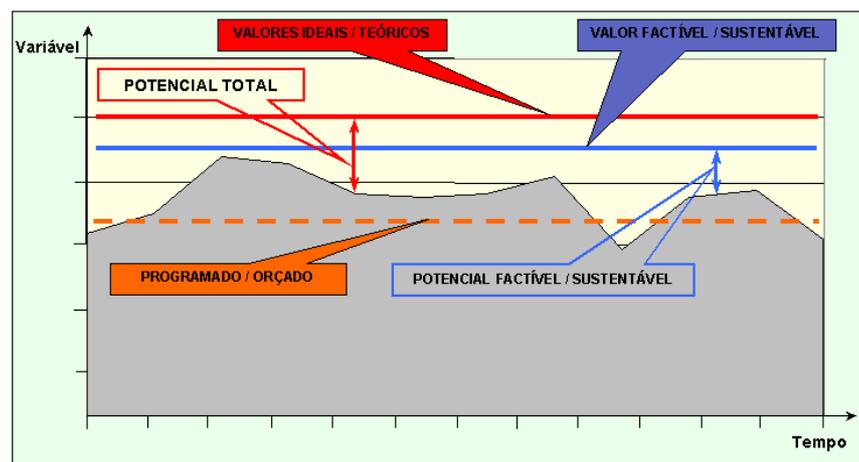
## b. Outras Perdas – Obtenção de Referências Internas

Existem oportunidades adicionais que não estão incluídas no IEG e que são representadas pelos *gaps* existentes entre a situação atual e aquela ideal/ teórica ou factível de certos parâmetros de processo com influência direta nos custos de produção e no faturamento.

O consumo específico de energia elétrica, vapor, combustíveis, gases industriais, água industrial e outras utilidades e insumos químicos de produção, deve ser focalizado como fonte potencial de oportunidades de ganhos com a redução de perdas associadas ao processo produtivo, no que diz respeito a custos variáveis.

Outras oportunidades também usualmente encontradas são as perdas de matérias primas, produtos intermediários e produtos acabados devido a vazamentos, perdas por *flare*, etc.

A Figura 8 expressa a forma como os valores de perdas em custo variáveis podem ser encontrados a partir da identificação das referências utilizadas para cálculo. E de como pode-se chegar a um valor de referência interna (*benchmarking* interno) para ser utilizado no cálculo destas perdas.



**Figura 8** - Exemplo de outras formas de cálculo de perdas. (Fonte: Manual de Gerenciamento de Manutenção e Confiabilidade 2005, pág 6 cap6)

Uma vez que os valores destas perdas não são quantificados por processos de *benchmarking* externo, que por sua vez indicam usualmente métricas de desempenho global, torna-se

necessário realizar esta avaliação através de comparação com o desempenho da própria planta. As referências empregadas são:

- Índices teóricos de desempenho de processo;
- Índices de desempenho de processo fornecidos pelo licenciador da tecnologia;
- Índices de desempenho de processo determinados pela engenharia de produção / processo com base no histórico de produção ou em melhorias implementadas na unidade industrial;
- Índices de desempenho de processo considerados como sustentáveis, medidos num determinado período de avaliação.

### **c. Referências teóricas – buscando um salto de performance**

O autor ainda propõe um terceiro nível de referência: o referencial teórico. Este referencial busca elevar o nível de comparação da performance atual do ativo com a teórica como:

- Índices de desempenho de processo considerando o limite da estequiometria da reação.
- Índices de desempenho considerando o máximo de rendimento da reação

São dois os principais objetivos da utilização destas referências:

- Verificar o quão longe do ideal teórico está a tecnologia aplicada e, com isso, buscar permanentemente o estudo de novos estudos em P&D. Esta perspectiva põe a empresa numa posição pró-ativa na competição pelos mercados. Na utilização de referenciais externos, a posição é reativa, ou seja, deseja-se igualar o desempenho interno aos melhores da indústria, ao passo que na utilização do referencial teórico, o esforço será efetuado no sentido de romper com o paradigma atual da tecnologia;

- Utilizar o modelo como insumo para o cálculo do retorno sobre investimento, naqueles casos em que se descubra uma nova tecnologia a ser empregada e com isso, se necessite investir em novos ativos.

O emprego da metodologia da árvore de perdas tem por objetivo maior estruturar os principais pontos onde a empresa pode identificar as grandes oportunidade de melhorar a sua performance operacional e, portanto, o seu lucro operacional, de acordo com o modelo defendido por Whaba (2002).

## 2.5 A evolução do papel da qualidade nas empresas

Eckes (2001) menciona que a diferença da melhoria contínua nos dias de hoje, em relação a abordagem feita no passado, está relacionada à forma como as sistemáticas e sistemáticas são usadas nas empresas. Durante algum tempo, nos primeiros movimentos da Qualidade Total, foram empregadas sistemáticas visando atingir a melhoria dos processos e nem sempre da rentabilidade ou lucratividade. Além disso, a aplicação destas sistemáticas era de domínio dos especialistas da qualidade – uma espécie de especialistas da qualidade, que detinham conhecimento das técnicas e tinham a função de resolver os problemas. E isso serviu para afastar toda a empresa das sistemáticas de qualidade.

Segundo Brue (2000), hoje em dia, porém, o papel dos profissionais de qualidade passou a ter um aspecto muito mais estratégico. No entanto, ele acredita que poucas empresas, entretanto, perceberam esta mudança e, como consequência, ainda pensam em qualidade apenas quando seus produtos saem de especificação, ou para cuidar de aspectos normativos referentes as normas técnicas, como a ISO 9.001.

O fato, segundo Wahba (2002), é que a pressão por competitividade sobre as empresas tem aumentado. Apenas aquelas empresas que ainda têm algum tipo de proteção como: patentes ou direitos autorais é que podem se permitir não colocar o tema “Produtividade e Competitividade” no topo das suas agendas. Ainda assim, é importante não esquecer que,

com a tecnologia a que se tem acesso, a informação disponível, por exemplo, na internet, possibilita aos consumidores realizar pesquisas relacionadas ao produto que desejam e, com isso, comparar: preços, prazos, características, fornecedores disponíveis, produtos e serviços substitutos, etc. Tudo isso on-line. Além disso, é possível compartilhar informações com outros clientes, criando fóruns de discussão, grupos associados e outros.

De acordo com o autor, a dimensão atribuída a qualidade de produtos deve ser tratada sob três aspectos:

- 1- O obrigatório, ou seja, aquele mínimo necessário, abaixo do qual o cliente fica insatisfeito, o que pode ter efeito negativo sobre as vendas ou gerar re-trabalho e custos adicionais em função de devoluções, *recalls*, etc;
- 2- O competitivo, que se traduz na preferência de um produto em detrimento a outros, o que pode “garantir” o volume de vendas e;
- 3- O atrativo, ou aquele que encanta o cliente. Este, além de fidelizar, pode ter efeito positivo no volume das vendas.

O profissional de qualidade deve ter um foco especial em relação a este aspecto. Em conjunto com os profissionais das áreas de marketing e produção, deve desenvolver trabalhos, no sentido de aprimorar o fortalecimento dos três aspectos citados com um foco especial no “atrativo”, visando aumentar o volume de vendas (através da conquista de novos clientes / mercados) e sustentá-lo ao longo do tempo (através da fidelização).

Conforme BreyfogleIII (2003), outro aspecto que deve ser considerado diz respeito aos aspectos de produtividade. O grande desafio dos especialistas da área é ajudar a identificar onde existem as oportunidades de melhorar a produtividade dos processos internos – por exemplo, reduzindo os custos, eliminando os desperdícios, reduzindo estoques e otimizando a logística, dentre outros. Até processos administrativos, como o de fechamento contábil, podem ser otimizados a partir da aplicação de sistemáticas de melhoria.

Ainda segundo o autor, este deverá ser o papel do profissional da qualidade: agregar valor aos processos da empresa pelo desenvolvimento de competências nos profissionais das diversas áreas da empresa voltadas à resolução de problemas e busca constante pela melhoria e otimização dos processos. Além disso, ele deverá estar todo o tempo em contato com os clientes, suas expectativas e desejos.

Para Bornia (2002), uma das principais diferenças entre a empresa atual e a antiga é a constante procura de melhoria em suas atividades. Ele defende o fato das empresas se concentrarem, não apenas na busca constante de seu aprimoramento e inovação tecnológica, como também, na eliminação de desperdícios nos processos existentes. O autor esclarece que o desperdício não agrega valor ao produto e não é necessário ao trabalho efetivo.

De acordo com Assaf Neto (2003), uma nova abordagem das empresas tem revelado avanços na forma de gerir os seus resultados, migrando da forma tradicional de buscar o lucro e a rentabilidade, para uma abordagem voltada à riqueza dos acionistas. Ainda segundo o autor, o conceito da gestão, em função da globalização, deixou de ser voltado exclusivamente à durabilidade do ativo. Ao contrário, deve incorporar o conceito do custo de oportunidade, ou seja, o quanto uma pessoa ou empresa sacrificou de remuneração por aplicar os seus recursos num determinado investimento de risco semelhante. Este conceito traz uma abordagem comparativa entre decisões de investimento no mesmo nível de risco ao invés de valores absolutos.

Sendo assim, conforme constata Wahba (2002), uma empresa criadora de valor consegue remunerar seus acionistas com valores acima das suas expectativas mínimas de ganho. Ou seja, o resultado gerado pelo negócio supera a taxa de remuneração exigida pelos credores e acionistas ao investirem na empresa. E isso sendo obtido através da utilização de uma forma sistemática de identificação de oportunidades de negócio que tenham retorno sobre o

resultado da empresa, garantindo a satisfação das partes interessadas: clientes, acionistas, empregados, fornecedores, governo e sociedade.

## 2.6 O Seis Sigma

Segundo Eckes (2001), o Seis Sigma tem sido usado como sistemática importante na melhoria do desempenho dos diversos processos (essenciais) ao negócio.

O foco da sistemática do Seis Sigma está, principalmente, na redução da variabilidade dos processos. A sua origem está ligada à preocupação que os ocidentais demonstraram, basicamente nas décadas de 1970 e 1980, com o alto nível de qualidade, baixo custo e alta flexibilidade que os produtos orientais, em destaque os japoneses, tinham principalmente quando comparados aos locais. A análise dos processos e produtos, levou os ocidentais a concluírem que o resultado da boa performance dos negócios orientais, àquela época, estava relacionado com a redução da variabilidade e “em fazer certo da primeira vez”.

De acordo com Eckes (2001), foi a partir dos trabalhos e conceitos desenvolvidos por Deming, no Japão do pós-guerra - em função do armistício e o suporte dado ao Japão pelos Estados Unidos, no programa de reconstrução - que os produtos japoneses passaram a apresentar níveis de variação tão baixos que viraram referência no mundo. Este modelo de produção japonês passou a ser uma referência que as empresas, especialmente as da indústria automobilística americana, tentaram reproduzir com o objetivo de manter-se no mercado. E o principal motivo estava relacionado aos três aspectos identificados por Whaba (2002): elas não atendiam a contento aos três aspectos da qualidade (obrigatório, competitivo e atrativo), o que levava ao impacto frontal no volume da vendas, nos custos operacionais e, por fim, no custo de capital, através da redução dos níveis de estoque.

Foi na década de 80 que a Motorola, num esforço para melhoria de seu desempenho, começou a estudar as sistemáticas de qualidade e a estruturar o que viria, mais tarde, a ser chamado de Seis Sigma.



O raciocínio defendido pelo autor é o de que se partindo da premissa de que os limites de especificação são fixos e de que a média está centralizada em relação a eles, para se poder ter mais “sigmas” entre os limites e a média, a única saída é reduzir o desvio padrão. Como o desvio padrão é uma medida de variação do processo, a conclusão lógica é a de que o objetivo maior deve ser o de reduzir a variação do processo.

O autor explica, então, que as principais causas tidas como comuns ou normais de variação de um processo estão relacionadas a seis principais fontes: Mão de obra, Meio ambiente, Material, Método, Medição e Máquina. Uma vez identificadas as principais fontes de variação e estabelecidas as correlações e principais impactos, deve-se estabelecer as ações para reduzi-las e controlá-las.

Esta proposição, entretanto, só é efetiva se as causas especiais, ou seja, aquelas não aleatórias estiverem sido eliminadas.

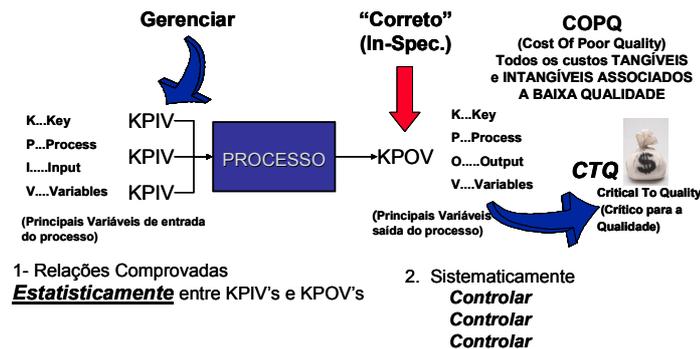
O Seis Sigma, então, deve estar voltado para redução / eliminação de variação, que é tida como destruidora de valor. O Quadro 1, proposto pelo autor, compara o nível de Sigmas do processo, com a probabilidade de defeitos por milhão de oportunidades e uma estimativa de custos relacionados à qualidade, expresso em % de vendas.

$\sigma$	Defeitos por MM de oportunidades (DPMO)	Rendimento (%)	Custo Qualidade (% vendas)
1	317.300	68,3	N.A
2	45.500	95,5	N.A
3	2.700	99,7	25 a 40 %
4	63	99,9937	15 a 25 %
5	0,57	99,999943	5 a 15 %
6	0,002	99,99999998	< 1%

**Quadro 1** - Comparação por nível de  $\sigma$  de defeitos, rendimento e custo de qualidade (Fonte: BreyfogleIII, 2003, p.14)

Em termos de princípio, o seis sigma tem por objetivo, identificar, no processo em estudo, quais são aquelas variáveis de entrada que mais podem afetar a especificação da saída deste processo. O objetivo proposto por Harry e Schöeder (2000) é tentar, sempre que possível, identificar uma correlação comprovada estatisticamente entre variáveis de entrada e de saída, para então controlá-las sistematicamente. A premissa adotada pelos autores é a de que se os

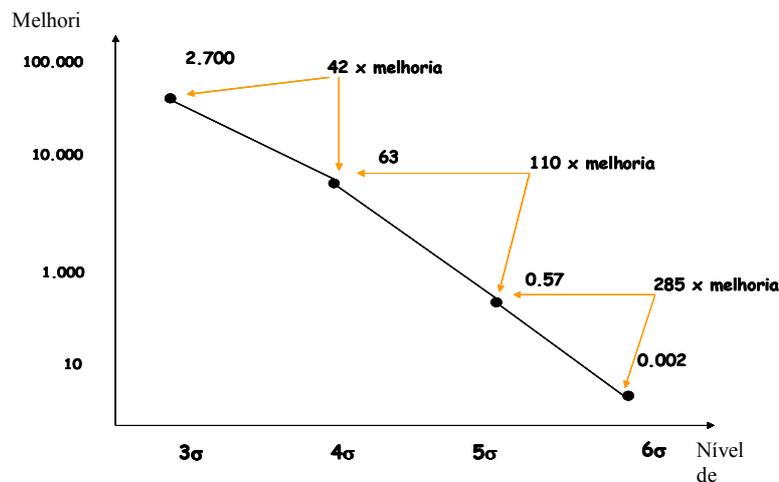
inputs forem bem gerenciados, os outputs estarão bem controlados porque as variações estarão reduzidas. Eles ainda definem que toda vez que ocorre variações no processo ou nas variáveis de entrada, algum custo associado a baixa qualidade é gerado (reprocessos, perdas, desperdícios) por não se garantir aquilo que é importante para o cliente. O modelo deste conceito está esquematizado na Figura 10.



**Figura 10** - Esquema dos princípios do Seis Sigma. (Fonte: Six Sigma Academy)

Breyfogle III (2003) chama a atenção para o fato de que, em função do esforço necessário para se evoluir de um nível sigma para outro num determinado processo, nem todos os processos da empresa aplicarão o Seis Sigma. Mais ainda: nem todo processo que aplicará o seis sigma terá como meta factível atingir o nível de desempenho  $6\sigma$ . Este nível de esforço está representado no modelo representado pela

**Figura 11.**



**Figura 11** - Grau de esforço necessário para evoluir o nível de sigma do processo (Fonte: Breyfogle III, 2003, p.15)

Uma vez decidida a utilização da metodologia num determinado processo, o grupo multidisciplinar de trabalho, sob a coordenação de um especialista, normalmente designado por “*black belt*”, é montado e o projeto de melhoria tem início.

O seis sigma é composto por cinco etapas bem definidas que têm por objetivo estruturar a abordagem do trabalho de forma sistemática segundo o princípio da metodologia científica, conforme relaciona Eckes (2001). Esta abordagem é conhecida como DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) e os seus passos são explicados sucintamente a seguir, com base em Harry e Schöeder (2000):

- Na primeira etapa da metodologia, faz-se a DEFINIÇÃO (*Define*) das envoltórias ou limites do processo em estudo: Qual é o problema ou a oportunidade a ser estudada? Quem é afetado por ele – quem é o cliente? O que é importante para ele (*Critical to quality* – CTQ)? Quais os indicadores deste processo? Quanto custa a variação? Qual é o defeito a ser reduzido? Que dados deverão ser coletados? Quais os riscos envolvidos? Como o desempenho do processo é medido? Quem são as pessoas da empresa que poderão contribuir no trabalho? São algumas das perguntas a serem respondidas nesta etapa. As principais sistemáticas utilizadas nesta etapa são: mapa de processo, fluxograma de processo e pareto.
- Na fase de MEDIÇÃO (*Measure*), faz-se a avaliação do sistema de medição para se validar os dados a serem utilizados no estudo. Além disso, é realizada a identificação das variáveis do processo, partindo-se do mapeamento, passando-se pelas possíveis causas de variação até se chegar aos pontos onde os dados são coletados, analisados e validados. Após esta validação, é verificada a capacidade que o processo tem em atender as especificações (custos, qualidade, prazos etc). Neste ponto é definido um nível sigma para o processo. Este nível sigma vai definir o quão bom (ou ruim) o processo está por meio da probabilidade de falhas que ele apresentará. Para cada nível

de falha do processo existirá um custo associado classificado como “Custo da baixa Qualidade”. As principais perguntas a serem respondidas nesta etapa são: Quem são os fornecedores do processo? Quais são *as medições do processo e dos outputs* que são críticos para o entendimento da sua performance? Quais são os padrões de performance para cada Y ? O que são defeitos para o projeto? Quais são as fontes primárias de variação? Elas são variáveis de controle ou ruído? Quais são os procedimentos associados a cada variável de controle? Onde os dados serão coletados? Qual é o plano de coleta de dados? Quantos serão necessários? A habilidade de Medir/Detectar é boa o suficiente? Quando é feita a amostragem ? Como garantir que influencias externas serão eliminadas e TODAS as fontes de variação foram contempladas ? Por que este projeto foi escolhido? Como este processo está indo? Qual é o atual nível  $\sigma$  do processo? Quais são os melhores processos “Desenhados” para realizar o que este faz? Quais são as metas de redução de defeitos para este projeto? Foram encontradas “melhorias de ação rápida”? As principais sistemáticas utilizadas nesta etapa são: Mapa de processo; Diagrama e Matriz de Causa e Efeito; FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*); Análise de Repetibilidade e Reprodutibilidade e técnicas de análises gráficas.

- Na etapa de ANÁLISE (*Análise*), as principais variáveis de entrada e saída do processo, identificadas na etapa anterior, são estudadas, buscando-se identificar possíveis correlações que sejam estatisticamente comprovadas. As principais perguntas a serem respondidas nesta etapa são: Quais são todas as Variáveis chave de entrada (*Key Process Input Variable - KPIVs*)? Onde os dados foram coletados? Quando se percebeu as oportunidades na definição, quanto foi o custo da baixa qualidade (*cost of poor quality – COPQ*)? Por que há variação nas variáveis chave de saída (*Key Process Output Variable- KPOVs*)? Quais são os inputs mais significantes?

Como os dados foram avaliados para identificar os fatores vitais que geram a variação? Quais são as causas-raiz do problema? As principais sistemáticas utilizadas são: Técnicas de análise gráfica (cartas de controle, histograma, pareto, *scatter*, dentre outros); Análise multivariada; Testes de hipótese; regressão e correlação; e outros.

- Na fase de IMPLANTAÇÃO (*Improve*), são levantadas as possíveis melhorias que o processo poderá sofrer. Nesta etapa pode-se fazer uso de simulações, planejamento de experimento ou outras técnicas de forma a se estabelecer uma  $f(x)$  que levará a um desempenho ideal para aquele processo. Uma vez identificado o ponto ótimo em que as variáveis do processo deverão estar de forma a garantir os resultados, ações deverão ser tomadas para garantir o “*set*” (ajuste) perfeito das variáveis dependentes importantes. As principais perguntas a serem respondidas são: Quem é impactado pela mudança? Quanto elas impactam? Que comportamentos do dia-a-dia precisam ser mudados? Qual o critério para avaliar as soluções potenciais? O que deve ser considerado para gerenciar os aspectos culturais da mudança? O que foi / será feito para lidar com possíveis resistências? Que mudanças deverão ser feitas para recompensar, treinar, medir? Onde as soluções foram validadas? Quando será implantada? Qual é o plano de implantação / comunicação? Por que esta solução? Quais são os problemas potenciais deste plano? Como as experiências ou simulações garantem que a solução ótima foi encontrada? Como a solução foi ligada a causa raiz? As principais sistemáticas desta etapa são: Planejamento de experimento; simuladores; otimizadores de processo; plano de ação.
- Por fim, na fase de CONTROLE (*control*), os resultados auferidos são validados financeira (os ganhos são realmente aqueles que se pensou no início do projeto?) e estatisticamente (o processo realmente melhorou?). Além disso, estratégias de controle são definidas e implantadas para garantir a sustentação deste novo patamar de

desempenho. As principais perguntas desta etapa são: Quem irá manter o controle? Como será o monitoramento e melhoria contínua do processo? Que controles serão implantados para garantir que o problema não voltará a ocorrer? Onde os dados serão coletados? Que cartas de controle serão usadas? Quais as evidências de que o processo está sob controle? Quando os dados serão revisados? Por que o plano de controle é efetivo? Como o job training foi afetado? A área financeira da empresa aprova os benefícios calculados e obtidos no projeto? Qual é o próximo problema que poderia afetar este processo em geral? Onde estão outras áreas que podem se beneficiar com os conhecimentos? Quando os conhecimentos serão compartilhados com outras áreas? Por que existe probabilidade de SUCESSO? Como as novas oportunidades serão comunicadas? Quais os aprendizados sobre as melhorias deste projeto Seis Sigma? Qual o potencial de replicação? E as principais sistemáticas utilizadas são: Planos de controle/auditoria; Cartas de controle estatístico de processo; dispositivos à prova de falha (*POKA-YOKE*); plano de manutenção preventiva/preditiva etc.

## 2.7 O seis sigma como sistemática para agregar valor

O seis sigma deve enxergar, então, as oportunidades de melhoria dos processos através do “Lucro Econômico”, conhecido como EVA – *Economic Value Agregated* (Valor Econômico Agregado). O modelo é baseado conforme esquematizado na Figura 2, modelo proposto por Whaba (2002).

Na prática, o objetivo dos “projetos” de melhoria no seis sigma é além de focar o aumento de receitas, que aumenta imediatamente o Lucro Econômico (LE), também reduzir o custo operacional ou o capital de giro, que podem gerar impacto no lucro operacional e no capital de giro, respectivamente.

Em se tratando do aumento de receitas, no que tange os aspectos obrigatório e competitivo da qualidade, o Seis Sigma irá ajudar conforme Harry e Schröder (2000) sugerem, através da redução da variabilidade daquilo que o cliente necessita: a especificação em si, o prazo de entrega, a quantidade desejada ou o serviço requerido. Para eles, o próprio processo do DMAIC aliado à aplicação de sistemáticas como o QFD (*Quality Deployment Function* – Desdobramento das Funções de Qualidade), podem transformar as expectativas do cliente nas especificações operacionais que serão medidas, analisadas, melhoradas e controladas de modo a garantir o mínimo de variação. No que tange ao aspecto atrativo da qualidade, o DFSS (*Design for Six Sigma* ou Projeto para o Seis Sigma) poderá garantir produtos e processos “a prova de falhas” desde a concepção até o fornecimento para o cliente.

Já no que diz respeito aos custos operacionais, a aplicação do seis sigma tem auxiliado a melhoria de índices técnicos, eliminação de desperdício, redução de re-trabalhos e aumento na geração de produtos dentro da especificação e com baixa variabilidade.

No campo do custo de capital, o seis sigma pode ser utilizado, como sugere Brue (2000), para reduzir estoques, seja através da melhoria dos processos de planejamento e controle da produção (processos conhecidos como SOIP – *Sales, Operation and Inventory Planning* – Planejamento de Vendas, Operações e Estoques), seja através da redução da variabilidade de processos logísticos, ou até mesmo definindo ou melhorando as políticas de estoque através da redução das incertezas associadas ao processo de previsão de demanda e/ou associadas ao processo de manufatura.

De acordo com Eckes (2001), empresas como a GE, *Alied Signal* e outras, conseguiram benefícios acima de US\$ 2 bilhões de dólares desde a aplicação do seis sigma em seus processos. Estes benefícios foram conseguidos a partir da redução de falhas nos processos de produção, vendas, dentre outros, o que possibilitou melhoria nos índices de qualidade,

redução de custos e eliminação de falhas, expressas por meio da redução de re-processamentos, atrasos em entregas entre outros.

## 2.8 O processo produtivo petroquímico

De acordo com d'Ávila (2002), o petróleo e gás natural são normalmente percebidos pelo grande público como sendo essencialmente fontes primárias de combustíveis, seja para uso em meios de transporte na forma de gasolina, diesel ou mesmo gás, seja para geração de calor industrial por combustão em fornos e caldeiras. Esta aplicação – energia – representa, segundo o autor, aproximadamente 96% da produção mundial. Todavia, também a partir do processamento inicial desses mesmos recursos naturais que provêm as matérias-primas básicas de um dos pilares do sistema industrial importante para economia mundial, a indústria petroquímica. Partindo geralmente ou da nafta, que é uma fração líquida do refino do petróleo, ou do próprio gás natural tratado, os sofisticados processos petroquímicos são capazes de quebrar, recombinar e transformar as moléculas originais dos hidrocarbonetos presentes no petróleo ou no gás, gerando, em grande escala, uma diversidade de produtos, os quais, por sua vez, irão constituir a base química dos mais diferentes segmentos da indústria em geral. Para o autor, atualmente é possível identificar produtos de origem petroquímica na quase totalidade dos itens industriais consumidos pela população tais como embalagens e utilidades domésticas de plástico, tecidos, calçados, alimentos, brinquedos, materiais de limpeza, pneus, tintas, eletro-eletrônicos, materiais descartáveis e dentre outros.

Tipicamente, na indústria petroquímica podem ser distinguidos três estágios, ou gerações, industriais na cadeia da atividade petroquímica:

- ✓ Indústrias de primeira geração, que fornecem os produtos petroquímicos básicos, tais como eteno, propeno, butadieno e outros. Estas indústrias, são, via de regra, denominadas de *crackers*, quando do processamento da nafta – carga líquida – uma vez que o seu processo tem por objetivo quebrar as ligações de hidrocarbonetos de

cadeia longa a altas temperaturas. A partir desta quebra, são originados hidrocarbonetos de cadeia menor, também conhecidos como olefinas. Os processos produtivos envolvidos nestas indústrias têm característica de processos contínuos, uma vez que as reações de quebra de cadeia ocorrem em fornos onde a nafta é alimentada e os produtos finais retirados continuamente.

- ✓ Indústrias de segunda geração, que transformam os petroquímicos básicos nos chamados petroquímicos finais, como polietileno (PE), polipropileno (PP), polivinilcloro (PVC), poliésteres, óxido de etileno e outros. As reações de polimerização também ocorrem de maneira contínua, com a alimentação das olefinas em reatores. O produto desta reação é chamado de resina base e, na etapa seguinte do processo são misturados aditivos que têm por finalidade dar ao produto final características de processabilidade.
- ✓ Indústrias de terceira geração, onde produtos finais da segunda geração são quimicamente modificados ou conformados em produtos de consumo. Neste tipo de indústria a característica de processos discretos, semelhantes aos de manufatura, está mais presente.

A indústria do plástico é o setor que movimenta a maior quantidade de produtos fabricados com materiais petroquímicos.

## 2.9 Adaptação de sistemáticas de processo discreto para processo contínuo

Segundo Robinson e Ginder (1995), a aplicação de uma sistemática desenvolvida para um processo discreto, como o TPM, para processos contínuos, merece atenção. Para os autores, a filosofia dos processos contínuos concentra o objetivo em maximizar a carga enquanto simultaneamente reduzem estoques e custos operacionais. Como não existe perda de tempo em espera, o processo contínuo expande o conceito para tempo total perdido no processo, incluindo estratégias de operação como reduções de carga e casos especiais como quebra de

equipamentos que exercem influência sobre o processo. Muito embora os dois tipos de processo tenham características diferentes, segundo os autores, é possível aplicar sistemáticas como o TPM, em complemento a estratégias relacionadas a aumento de carga, redução de custos variáveis e aumento de produtividade. Os autores mencionam que uma estratégia de adaptação passa por identificar as principais restrições do processo contínuo e mensurá-los de forma sistemática, definindo metas organizacionais para gerenciá-las.

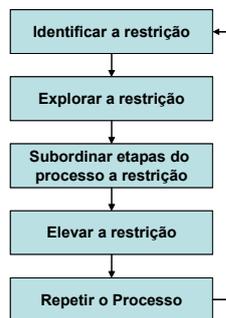
De acordo com Goldratt e Fox (1984) o processo de identificação e gerenciamento de restrições em processos de produção passa por cinco etapas:

- ✓ Identificar as restrições do processo: através da análise de qual equipamento ou etapa do processo afeta negativamente a capacidade geral do processo ou Índice de Eficiência Global (IEG). Para os autores, a identificação desta restrição é a chave para todo o gerenciamento do processo contínuo.
- ✓ Explorar a restrição do processo: A organização deve colocar todos os seus esforços para manter o ponto de restrição do processo produtivo durante todo o tempo. Os autores sugerem que isso pode ser feito através da operação da restrição em turnos adicionais, mudando as inspeções de qualidade para outros pontos do processo de forma a permitir que a restrição opere em carga máxima, dentre outros. Uma crítica realizada por Robinson e Ginder (1995) a esta abordagem de Goldratt e Fox (1986) refere-se ao fato dos autores não sugerirem maneiras objetivas de aumentar a carga da restrição, deixando a cargo dos leitores esta tarefa.
- ✓ Subordinar as demais restrições: Significa tornar todas as atividades do processo subordinadas ao ritmo da restrição. Ou seja, a planta deve operar ou planejar todas as etapas do processo à taxa de produção da etapa ou equipamento que representa a restrição. De fato, não há sentido em acelerar outras etapas do

processo, uma vez que todo o fluxo só será contínuo na taxa de produção da restrição.

- ✓ Elevar a restrição: Representa investir na restrição para elevar sua capacidade e carga. O maior objetivo é elevar a sua capacidade de tal forma que esta etapa do processo deixe de ser a restrição. Para os autores isso envolve atualização em engenharia, compra de equipamentos adicionais, dentre outros. Mais uma vez Robinson e Ginder (1995) criticam Goldratt e Fox (1986) por não sugerirem meios específicos de se atingir este objetivo. Esses autores sugerem a aplicação da manutenção autônoma como sendo um meio de se atingir o objetivo proposto por Goldratt e Fox (1984).
- ✓ Repetir o processo: Uma vez removida a restrição, o processo deve ser novamente avaliado, buscando-se uma nova restrição e aumentando a sua capacidade. Nesta etapa, os autores sugerem que uma comunicação seja feita a toda a equipe, informando da mudança da restrição de forma a liderar toda a organização para a eliminação da nova restrição do processo.

A Figura 12 demonstra como o processo de gerenciamento da restrição é feito:



**Figura 12** - Gerenciamento de Restrições em processos (Fonte: Robinson e Ginder , 1995, p.155)

Para Robinson e Ginder (1995), a utilização do IEG pode ser feita em processos contínuos trabalhando-se principalmente em seis principais perdas:

- ✓ Quebra de equipamentos (*breakdown*)

- ✓ *Setups* e ajustes;
- ✓ Pequenas paradas;
- ✓ Redução de Capacidade (*slowdown*);
- ✓ Perdas de qualidade – rejeitos;
- ✓ Partidas (*startup*)

Para os autores, a utilização do IEG é um importante direcionador para ações relacionadas a redução de perdas e melhorias de processos discretos ou contínuos. Para os autores, a aplicação do IEG e do TPM é complementar a qualquer outra sistemática e, para processos contínuos pode servir para priorizar ações de melhoria e eliminação de desperdícios

## 2.10 Exemplo de aplicação em processo contínuo

Segundo Robinson e Ginder (1995), a DuPont é uma empresa de classe mundial ( com plantas espalhadas ao longo dos continentes) que tem a maioria dos seus processos contínuos baseados em petroquímica, química, plásticos e fibras. Para os autores, ela é reconhecida mundialmente por seus resultados relacionados a segurança bem como por sua atuação vigorosa em *benchmarking*.

Como resultado dos seus estudos em empresas ao redor do mundo, a DuPont aprendeu a forma de aplicar sistemáticas como o TPM e Seis Sigma antes da maioria das empresas Norte Americanas. A empresa organizou uma estrutura interna de forma corporativa e deu-lhe responsabilidade para dar suporte a todas as plantas do mundo, com o objetivo de elevar o nível de gerenciamento e performance dos equipamentos e processos. Em 1987 a empresa participou de estudo de *benchmark* em práticas de manutenção envolvendo companhias da Europa e Japão. Como resultado do estudo, concluiu-se que as empresas Americanas, de maneira geral, possuíam:

- ✓ Os mais altos custos de manutenção;
- ✓ As menores utilizações de contratados (parceiros);

- ✓ A pior estrutura de suporte;
- ✓ Os mais altos níveis de estoques de sobressalentes;

A DuPont então decidiu que assuntos como manutenção seriam tratados de forma estratégica de maneira a apoiar as metas globais da companhia. Anos antes, o mesmo aconteceu em relação ao comprometimento com a segurança. Os resultados obtidos, ajudaram a ganhar notoriedade como uma das empresas mais seguras do mundo.

De acordo com Flynn (1991) a DuPont passou a utilizar medições chamadas de “*uptime*”, ou tempo de operação, que têm por objetivo rastrear e elencar todas as possíveis fontes de perda na produção. De acordo com o autor, esta medição é muito similar ao IEG.

Segundo o autor, após a implantação da sistemática, a empresa vem fazendo grande progresso, gerando, por exemplo, redução de estoques da ordem de US\$ 200 milhões por ano. Entretanto, para o autor, a empresa apenas têm começado a reconhecer o potencial da sistemática.

## 2.11 Síntese das idéias e conceitos mais relevantes

Para Whaba (2002) o principal desafio das organizações no atual ambiente econômico é, ao mesmo tempo, definir e formular a estratégia empresarial e identificar e implantar sistemáticas que possam demonstrar melhor todos os custos, para que o gestor possa focar e eliminar aqueles mais prejudiciais ao desempenho do negócio.

Shingo (1996) estabelece que a produção é uma rede composta por processos (fluxo de materiais no tempo e espaço) e operações (trabalho) com o objetivo de transformar matéria-prima, em produto acabado – agregando valor entre um estado e outro da transformação.

Imai (1996) sugere a adoção de sistemáticas que possam identificar perdas potenciais ou reais.

Liker (2005) defende a adoção das métricas de classificação de perdas utilizadas do Sistema Toyota de Produção (STP):

- ✓ Excesso de produção;

- ✓ Excesso de estoque;
- ✓ Refugo ou retrabalho;
- ✓ Excesso de movimento;
- ✓ Excesso de processamento;
- ✓ Espera;
- ✓ Excesso de transporte;

Segundo Takahashi e Osada (1993), é necessário investigar a eficiência dos ativos produtivos com base na capacidade de projeto e nos índices de qualidade dos produtos gerados. Os autores sugerem a adoção do Índice de rendimento global do equipamento que pode ser calculado a partir do produto do tempo de operação pela velocidade operacional e pelo índice de qualidade de produto.

De acordo com Suzuki (1994), o Índice de Eficiência Global (IEG), deve ser empregado pela empresa como indicador de desempenho de um equipamento, linha de produção ou sistema de operacional. O autor sugere que as perdas em IEG podem ser influenciadas por:

- ✓ Paradas Programadas;
- ✓ Ajustes de Produção;
- ✓ Falhas de Equipamentos;
- ✓ Falhas Operacionais;
- ✓ Produção Normal;
- ✓ Produção Anormal;
- ✓ Produção *Off-Spec* / Rejeitos;
- ✓ Reprocessamento;

Assim, o autor define três fatores que podem ser utilizados para calcular o IEG:

- ✓ Fator de Disponibilidade: relação do Tempo de Operação pelo tempo calendário;

- ✓ Fator de Capacidade: relação do Tempo líquido de operação pelo Tempo de Operação;
- ✓ Fator de Qualidade: relação do Tempo Efetivo de operação pelo Tempo líquido de operação;

Sendo assim, o IEG pode ser calculado como sendo a relação entre o Tempo efetivo de operação e o tempo calendário.

Além do IEG, Suzuki (1994) defende que existem oportunidades adicionais além daquelas apontadas pelo IEG. Estas oportunidades são representadas pela diferença existente entre a situação de desempenho atual e a ideal / teórica ou factível àqueles parâmetros de processo que influenciam diretamente os custos de produção ou faturamento. Alguns exemplos ilustrados pelo autor são: Consumos específicos – energia elétrica, vapor, combustíveis, gases industriais, insumos químicos, dentre outros. Outras oportunidades também podem ser encontradas em matérias-primas, produtos intermediários e produtos acabados. As referências utilizadas para comparação e cálculo das diferenças de desempenho podem ser internas – através de valores de projeto ou melhores desempenhos alcançados historicamente; externas – a partir de valores de *benchmarking* externo – ou teóricos – como limites de estequiométricos ou de perda zero.

A árvore de perdas, então, pode funcionar como uma sistemática de identificação das perdas de produção – através do cálculo do IEG – e dos custos de produção – através da comparação de desempenho entre a performance atual e as melhores já obtidas, os valores de projeto ou referências teóricas. A partir do cálculo destes valores, pode-se encontrar os pontos prioritários para atuação da empresa com vistas a redução de perdas.

Segundo Eckes (2001), o seis sigma tem sido usado como uma sistemática para melhoria de desempenho dos diversos processos – essenciais – ao negócio. Para o autor o foco da sistemática está na redução de variabilidade e “em fazer certo da primeira vez”.

Para Breyfogle III (2003) as principais causas normais ou comuns de variabilidade num processo, estão relacionadas a seis principais fontes: Mão de obra, Meio Ambiente, Material, Método, Medição, e Máquina. Segundo do autor, o seis sigma é baseado na execução de projetos de melhoria a partir da redução da variação de processos importantes para o negócio.

Cada projeto é composto por cinco etapas:

- ✓ Definição: onde o escopo do projeto é validado a partir do que é importante para o cliente e do valor da baixa qualidade.
- ✓ Medição: onde, dentre outras atividades, avalia-se o sistema de medição, as variáveis chave de entrada e saída do processo e a capacidade do processo em atender as especificações acordadas.
- ✓ Análise: onde se estuda as principais variáveis, buscando-se correlações estatísticas.
- ✓ Implantação de melhorias: onde são levantadas as possíveis melhorias, com base no levantamento realizado nas etapas anteriores.
- ✓ Controle: etapa que auferes os resultados obtidos financeira e estatisticamente e define a estratégia de controle para sustentação dos ganhos.

De acordo com d'Ávila (2002), os processos petroquímicos a partir de carga líquida têm três estágios ou gerações:

- ✓ Primeira geração: quebra das moléculas de nafta (cadeias carbônicas longas) a altas temperaturas, gerando principalmente eteno, propeno, butadieno e correntes aromáticas;
- ✓ Segunda Geração: Onde ocorre a polimerização do eteno e propeno transformando-os em Polietileno (PE), Polipropileno (PP), PoliCloro de Vinila (PVC), Polietileno Tereftalato (PET).

- ✓ Terceira Geração: É a transformação dos produtos da segunda geração em aplicações conhecidas, como tubos, embalagens, produtos automotivos, utensílios domésticos e outros.

Para o autor, os processos da primeira e segunda gerações têm características de processos contínuos uma vez que o fluxo de operação é permanente sem a existência de lotes.

Processos com estas características podem ter sua abordagem de perdas simplificada, desconsiderando-se, por exemplo, a perda por espera, excesso de movimento e excesso de transporte. Sendo uma abordagem sugerida por Robinson e Ginder (1995), adotar a perda total do tempo de produção, como uma das possibilidades de adaptação da sistemática usada para processos discretos em processos contínuos. Em complemento, os autores sugerem a identificação e gerenciamento da restrição do processo.

Os mesmos autores citam a DuPont como um dos principais exemplos de empresas de processo contínuo e na indústria química e petroquímica, a adaptarem o TPM e o Seis Sigma a sua estratégia empresarial.

Durante o levantamento do referencial teórico, não foi possível verificar um caso em que as duas sistemáticas em estudo, a Árvore de Perdas e o Seis Sigma, tivessem sido implantados de forma conjunta.

O caso da DuPont, é o que mais se assemelha ao caso em estudo por ser uma empresa com processos contínuos, na área petroquímica e, portanto com necessidade de adaptações. Também a DuPont implantou as duas sistemáticas em suas plantas. No entanto, não se conseguiu verificar no levantamento feito, a aplicação conjunta: a Árvore de Perdas, teve a sua implantação realizada juntamente com o TPM em meados da década de 1980 e o Seis Sigma, mais recentemente, no final da década de 1990.

### 3 METODOLOGIA DO TRABALHO

#### 3.1 Classificação da Pesquisa

##### 3.1.1 Modelo para enquadramento metodológico da pesquisa científica

Segundo o modelo desenvolvido por Petri (2005), o enquadramento metodológico de pesquisa deve levar em consideração os seguintes aspectos: a visão do conhecimento, o paradigma científico, a estratégia e o método de pesquisa e, por consequência, os instrumentos a serem utilizados.

O autor defende que o enquadramento da metodologia a ser aplicada deve-se adaptar às crenças do pesquisador e aos objetivos da pesquisa. Ele se baseia em autores como Montibeller Neto (2000) e Gil (1999), para os quais a metodologia de pesquisa não tem um padrão, logo seu enquadramento dependerá de três componentes: corrente filosófica do pesquisador, objetivos perseguidos e resultados esperados.

Petri (2005) propõe, então, um modelo de enquadramento metodológico que leva em conta as escolhas realizadas pelo pesquisador com base nos componentes citados acima. O modelo pode ser resumido na Figura 13.

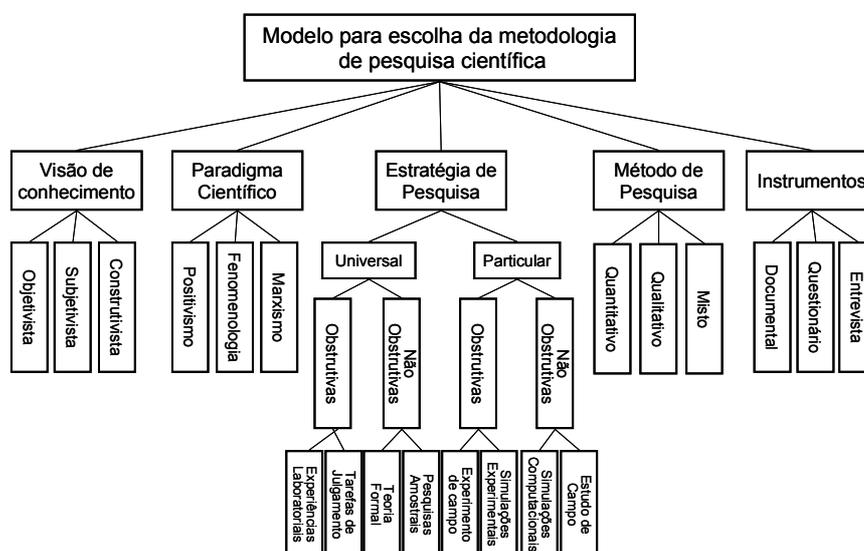


Figura 13 Estrutura de enquadramento metodológico. Fonte: Petri (2005, pág 23)

De acordo com o autor, as visões do conhecimento foram citadas por Roy (1993, 1994 e 1996), Landry (1995) e por Ensslin (2001), como sendo: Objetivista (ou realista), Subjetivista e Construtivista.

Estas visões são utilizadas para classificar as relações do objeto de pesquisa e do pesquisador no conhecimento gerado. No primeiro caso, o Objetivismo, a premissa baseia-se no fato de que os resultados da pesquisa irão independe do pesquisador, logo o objeto é a realidade. Já na abordagem Subjetivista, os resultados serão inerentes ao sujeito. E, por fim, no Construtivismo, ambos exercem influência sobre o conhecimento gerado, uma vez que ocorrerão interações entre sujeito e objeto.

No que tange o paradigma científico, Petri (2005) baseia-se em Trivinos (1987 e 1992) e em Easterby-Smith et al. (1991) para classificar as alternativas em: Positivismo, Fenomenologia e Marxismo.

Para o autor, o Positivismo acredita na representação da realidade independente da ciência, ou seja, parte dos pressupostos de que o pesquisador é neutro e a ciência isenta de valor. Este paradigma assume que, uma vez encontrados os resultados da pesquisa, se outro pesquisador aplicar a mesma metodologia, irá encontrar, necessariamente os mesmos resultados.

Já na Fenomenologia, ambos, pesquisador e participantes são fundamentais, uma vez que cenários e contextos são construídos e a ciência conduzida pelos aspectos – percepções e interações – julgados por eles como importantes.

No Marxismo, deve-se aplicar uma pesquisa mais aprofundada e ampla de modo a se gerar um novo conhecimento partindo-se de outro já existente, apenas pela sua reinterpretação.

A estratégia de pesquisa, para Petri (2005), dependerá da amplitude do objetivo que se está perseguindo: universal ou aplicada. No primeiro caso, baseia-se em McGrath (1982) para propor que uma vez estabelecidos os procedimentos, qualquer pesquisador aplicando-os na mesma sequência deverá encontrar os mesmos resultados uma vez que os resultados serão

generalizados. No segundo caso, Trivinos (1987 e 1992) sugere que, uma vez sendo o propósito do pesquisador gerar conhecimentos para aplicação prática e para a solução de problemas específicos, dificilmente os resultados encontrados numa pesquisa, o serão para um outro momento e com um outro pesquisador. A validade será limitada a uma situação e um contexto limitados.

Escolhida a estratégia de pesquisa, deve-se agora, de acordo com o autor, decidir sobre a possibilidade de agir de maneira mais ativa, interferindo ou participando na condução da pesquisa e, como consequência, nos resultados, ou adotando uma postura mais neutra. No primeiro caso, define-se por uma pesquisa obstrutiva, no segundo, por uma não obstrutiva.

No caso da pesquisa universal obstrutiva, pode-se privilegiar tarefas de julgamento e experiências laboratoriais. Caso seja Universal-Não Obstrutivo, pode-se utilizar de pesquisas amostrais e teorias formais.

Da mesma forma, para pesquisas do tipo Particular-Obstrutiva, pode-se lançar mão de simulações experimentais – experiências fictícias para verificar comportamentos e/ou atitudes – ou experiências de campo - reais, porém voltadas para interesses específicos. Entretanto, se a opção for pela Particular-Não obstrutiva, o maior enfoque estará nos estudos de campo – com foco na resolução de contextos ou situações – ou nas simulações computacionais.

Uma vez estabelecida a estratégia de pesquisa, cabe ao pesquisador definir que métodos serão utilizados. Köche (2001) e Trivinos (1987), apud Petri (2005), classificam os métodos como: quantitativos, qualitativos e mistos. No primeiro caso, caberá ao pesquisador utilizar métodos estatísticos e matemáticos. No caso dos métodos qualitativos, utilizados em sua maioria nas áreas das ciências sociais e humanas, são consideradas sensações, sentimentos, méritos, importância e tudo aquilo que um pesquisador poderia ou não encontrar no seu projeto de pesquisa. Por fim, existe, também a possibilidade de se lançar mão de um método misto, considerando-se tanto os aspectos qualitativos quanto os quantitativos.

Num último passo do processo de enquadramento metodológico, Yin (2001) apud Petri (2005), classifica macro opções para utilização de instrumentos de pesquisa: entrevistas, questionários e documentos.

### 3.1.2 Enquadramento metodológico

Com base nas definições e no modelo proposto por Petri (2005), poder-se-ia enquadrar a metodologia de pesquisa utilizada neste trabalho como:

- a) **Quanto à visão do conhecimento**: embora a construção do modelo da árvore de perdas, bem como a aplicação do seis sigma para melhoria de processos, tenham características que muito se aproximam da visão construtivista, a pesquisa aqui apresentada tomará por base o histórico dos dados e fatos ocorridos no período de 2002 a 2004, portanto o conhecimento gerado terá maior aproximação com a visão Objetivista, uma vez que dependerá exclusivamente da forma como as sistemáticas foram utilizadas e da sinergia obtida por elas.
- b) **Quanto ao paradigma científico**: da mesma forma como o que foi apresentado no item anterior, poder-se-ia sugerir o paradigma Fenomenológico por se tratar de um processo onde é necessário o envolvimento e a interação entre os atores. E sob certa perspectiva esta alternativa poderá ocorrer no momento em que a interpretação de determinados fenômenos sejam necessários para elucidar ou dirimir dúvidas que possam surgir. Entretanto, em linhas mais genéricas, tende-se a sugerir o paradigma Positivista uma vez que, estudando os dados estruturados da árvore de perdas e os projetos Seis Sigma aplicados, seria de se esperar obter as mesmas conclusões, independentemente do pesquisador.
- c) **Quanto à estratégia de pesquisa**: Nesse caso, a estratégia a ser empregada baseia-se na pesquisa particular, uma vez que seu objetivo será o de gerar conhecimento a ser utilizado em situações específicas da empresa em estudo. Também será Não-Obstrusiva por interferir ou participar dos resultados. Por fim, adotará pesquisa de campo ou, segundo Yin (2001), estudo

de caso: devido à natureza do tema proposto, ou seja, estudar a aplicação de duas sistemáticas numa empresa específica, num ramo específico de atividade econômica, durante um período de tempo limitado a três anos – entre 2002 e 2004. O recorte desta pesquisa se dará numa unidade de negócios de uma empresa petroquímica localizada no pólo petroquímico de Camaçari, Bahia. Este estudo se dará basicamente através da avaliação do desempenho das capturas obtidas (redução das diferenças de desempenho em relação a referências estabelecidas), seu impacto em itens específicos como redução de custos variáveis, disponibilidade de ativos, aumento de capacidade de produção, dentre outros indicadores gerais ou específicos, dependendo dos casos analisados.

d) **Quanto ao método:** O método a ser utilizado será misto, uma vez que se pretende realizar análises quantitativas (comparações matemáticas e, por vezes, dados estatísticos) e também qualitativo, uma vez que análises qualitativas serão feitas com o intuito de avaliar a percepção das lideranças sobre os benefícios das duas sistemáticas estudadas.

e) **Quanto ao uso de instrumentos:** em virtude da necessidade de se buscar dados referentes a performance da unidade produtiva da empresa em estudo, alguns arquivos, registros e documentos, a pesquisa documental é o instrumento de real importância para o sucesso do projeto de pesquisa. Para tanto, o acervo da empresa, especialmente relatórios financeiros e de produção, serão utilizados como fonte para coleta de dados e informações. Além disso, alguns documentos emitidos pela empresa que contém conceitos e definições empregados para o entendimento da aplicação das sistemáticas, serão utilizados. Também lançou-se mão da pesquisa bibliográfica e demais referências para dar o norte conceitual e fundamentar as comparações entre os conceitos adotados pela empresa e os referenciais teóricos adotados. A abordagem aplicada neste trabalho parte de uma pesquisa bibliográfica para contextualizar a análise da competitividade da indústria, a evolução histórica dos conceitos de qualidade, a relação entre a qualidade e o valor do negócio, definir as etapas do Seis Sigma e a árvore de

perdas, do TPM. Também fez-se a utilização de um questionário aplicado a liderança da UN estudada com o objetivo de coletar o ponto de vista dos principais gestores quanto ao nível de sinergia entre as duas sistemáticas implantadas.

Na quarta parte, é utilizado um estudo de caso para ilustrar a estruturação e a aplicação da árvore de perdas e do seis sigma na realidade da indústria em referência para identificar e eliminar/reduzir desperdícios respectivamente. E, por fim, no quinto capítulo, faz-se a conclusão do trabalho de pesquisa com base na avaliação dos resultados alcançados pela empresa a partir da integração das duas sistemáticas. Neste mesmo capítulo serão feitas recomendações considerando-se as observações encontradas durante a análise dos dados.

Na Figura 14 resume-se o enquadramento metodológico conforme proposto por Petri (2005).

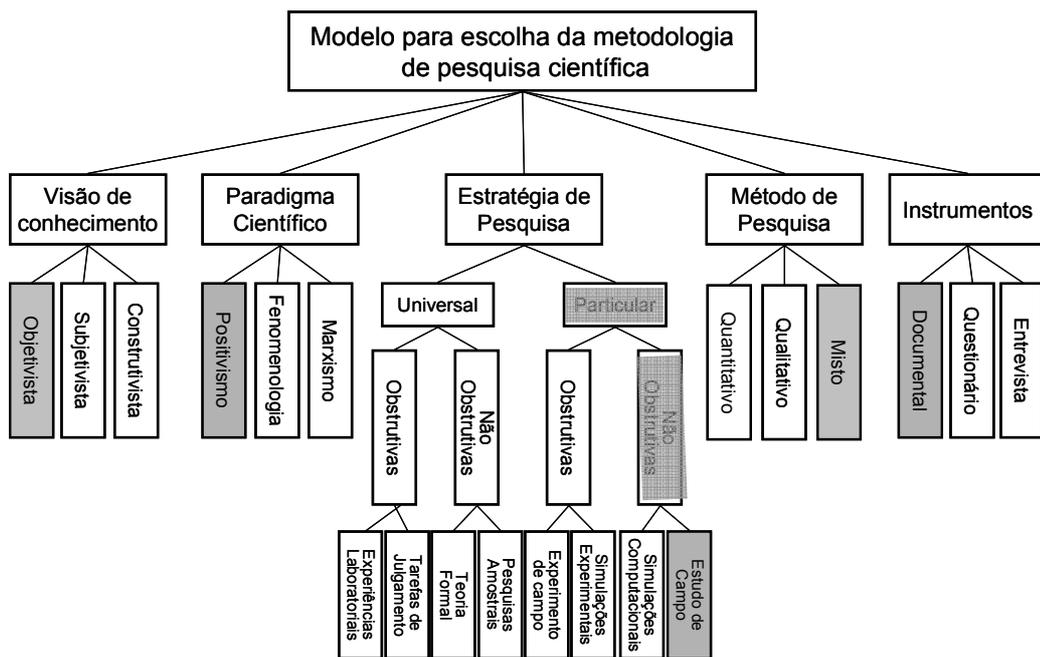


Figura 14 - Estrutura de enquadramento metodológico. Fonte: Petri (2005, pág 23)

### 3.2 Suposições e resultados esperados:

Basicamente serão as suposições:

#### a. Efetividade de um projeto de melhoria de processo na empresa estudada

- (S1) Espera-se que a adoção da metodologia seis sigma na empresa estudada, através da análise de um projeto gere melhoria que propiciou uma mudança significativa na redução de variabilidade do processo estudado. O objetivo dessa suposição é verificar a mudança

do nível de variabilidade de um dos processos antes e após a aplicação da metodologia seis sigma. Com isso, pretende-se verificar o objetivo específico 2: Verificar a utilização da aplicação da sistemática do Seis Sigma como forma de eliminar ou reduzir as perdas identificadas, trazendo retorno para uma empresa do setor petroquímico - estudada.

O teste foi feito utilizando os dados do processo através da análise *Two-sample T*<sup>1</sup> e será objeto da fase Controle da metodologia seis sigma apresentada no capítulo 5.

**b. Implantação da metodologia seis sigma**

- (S2): Espera-se que relação entre o esforço empreendido pela empresa e os resultados obtidos através da implantação do modelo se mostre atrativa dado que o esforço foi menor do que o resultado alcançado. A suposição sugere verificar a relação de esforço e resultado na implantação do seis sigma e, conseqüentemente a estratégia de adoção do seis sigma como metodologia para melhoria dos processos na empresa estudada. Essa suposição complementa a análise do objetivo específico 2 e parte do objetivo específico 4: Aplicar ambas as sistemáticas de maneira conjunta em uma empresa do setor petroquímico.

**c. Integração entre as duas sistemáticas (Seis Sigma e Árvore de Perdas)**

- (S3): Espera-se que a integração das duas sistemáticas – árvore de perdas e seis sigma – na empresa estudada tenha gerado meios de identificar e eliminar perdas no negócio, dada a análise dos resultados obtidos. O objetivo dessa suposição é a proposição do objetivo Geral e parte dele tratará do objetivo específico 1: Identificar se a aplicação da sistemática da “Árvore de Perdas” do TPM serviu como forma de identificação de perdas e oportunidades para trazer retorno a uma empresa do setor petroquímico - estudada. Também ajuda a verificar o objetivo específico 4: Aplicar ambas as sistemáticas de maneira conjunta em uma empresa do setor petroquímico.

---

<sup>1</sup> De acordo com Campos (2003) o Teste *Two-sample T* é utilizado para testar a diferença entre as médias de duas populações, quando estas populações forem diferentes. Também pode ser utilizado para construir o intervalo de confiança para a diferença entre as médias. Faz um teste de hipótese considerando a diferença entre as médias de duas populações quando os desvios-padrão destas são desconhecidos. A formulação das hipóteses são:  
 $H_0: \mu_1 - \mu_2 = \delta_0$  e  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq \delta_0$ ,  
 onde  $\mu_1$  e  $\mu_2$  representam as médias das populações e  $\delta_0$  representa a hipótese da diferença entre as médias das duas populações.

A sua verificação será realizada a partir da análise de redução de perdas financeiras totais e por categoria – utilização de capacidade, disponibilidade, qualidade e custos variáveis. Serão feitas análises gráficas e comparações entre o plano de redução de perdas proposto e realizado.

### 3.3 Definição das variáveis

Buscou-se a análise de variáveis que se refletissem em **resultados** de melhoria no nível operacional, tais como:

- ✓ Perdas econômicas medidas em moeda fixa com base na utilização de capacidade;
- ✓ Perdas econômicas medidas em moeda fixa com base na disponibilidade;
- ✓ Perdas econômicas medidas em moeda fixa com base na qualidade;
- ✓ Perdas econômicas medidas em moeda fixa com base em custos variáveis.

Também se buscou levantar variáveis de **esforço**, utilizadas para medir a implantação do Seis Sigma, que pudessem mostrar o avanço na sua implantação:

- ✓ Benefícios reais alcançados pelos projetos seis sigma implantados versus benefícios estimados;
- ✓ Quantidade de projetos implantados ao longo do tempo de implantação
- ✓ Quantidade de pessoas treinadas na metodologia.

Por fim, no estudo de um projeto seis sigma aplicado, foram levantadas variáveis que refletissem o sucesso do projeto, tais como:

- 1 Nível sigma do processo antes e após a implantação do projeto seis sigma;
- 2 Benefício financeiro do projeto em termos de economia após sua implantação medida em moeda real calculado em bases anuais.

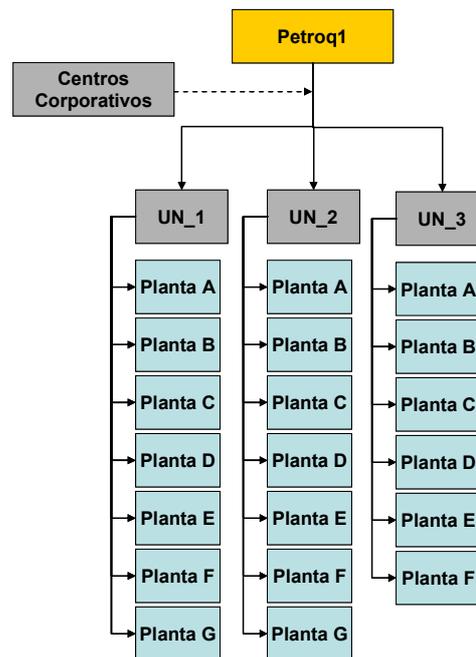
### 3.4 Unidade de Estudo

A empresa identificada, a partir deste momento como Petroq1, é uma empresa petroquímica com matriz situada em São Paulo e 20 plantas industriais situadas nos estados do Rio Grande do Sul, Bahia, Alagoas e São Paulo. Com aproximadamente 2.200 integrantes diretos e 5.000 indiretos, está dividida em 3 unidades de negócio, 6 centros corporativos e tem faturamento anual na ordem de 600 milhões de dólares. Os processos produtivos englobam a primeira e a segunda gerações do ciclo produtivo petroquímico.

A empresa tem algumas características no processo de produção que estão alinhadas com os fatores de competitividade de uma empresa do setor:

- ✓ Intensiva em capital, com forma de reduzir o efeito de novos entrantes;
- ✓ Mão de Obra especializada;
- ✓ Matérias-primas e energia representando aproximadamente 92% dos custos totais de produção;
- ✓ Dependente da confiabilidade de equipamentos;
- ✓ Fortemente dependente de um fornecedor principal de matéria-prima – nafta;
- ✓ Dependente da utilização total da capacidade como estratégia para diluição dos custos fixos e aumento do desempenho de índices técnicos.

A Figura 15 demonstra a sua estrutura da empresa Petroq1.



**Figura 15** - Modelo estrutural da empresa estudada (Fonte: o autor)

A partir de 2002, essa empresa decidiu aplicar o modelo da Árvore de Perdas nas suas plantas como forma de identificar oportunidades de melhoria de performance em seus negócios, a partir da redução de produtos *off-spec*, melhoria de índices de consumo específico – o que tem

impacto em custos variáveis - e na análise de fatores que tiveram influência na utilização da capacidade instalada de seus ativos.

A unidade de negócios escolhida para realização deste estudo de caso, é representante da segunda geração do processo petroquímico e possui 6 plantas distribuídas ao longo de 3 estados brasileiros. Ela representa aproximadamente 20% do resultado global da empresa e foi escolhida para este trabalho de pesquisa devido a forma estruturada e disciplinada como estruturou e implantou as duas sistemáticas. Esta unidade de negócios se tornou uma referência interna na empresa na implantação conjunta das suas sistemáticas.

### **3.5 Coleta de Dados**

Uma vez realizada a pesquisa bibliográfica, onde se buscou alinhar os conceitos das duas sistemáticas, foi realizada uma pesquisa documental referente a publicações de relatórios técnicos, material de circulação interna, apresentações e divulgações realizadas na intranet de uma das unidades de negócios de empresa escolhida. A unidade tomada por base neste trabalho foi escolhida pelo simples fato de ter os dados necessários à análise disponíveis e divulgados por toda a empresa. Além disso, haviam dados disponíveis relativos aos anos de 2002 a 2004. Todos os valores econômico-financeiros apresentados neste trabalho, levaram em consideração o ano de 2002, ou seja, a base monetária permaneceu congelada nos anos posteriores a 2002, para se isolar os efeitos relacionados à variação de preços e margens. Os principais dados levantados foram:

- ✓ Histórico de implantação do modelo da árvore de perdas;
- ✓ Histórico do modelo de implantação do seis sigma;
- ✓ Principais definições de conceito utilizadas na estruturação da árvore de perdas, como por exemplo: perdas por utilização de capacidade, disponibilidade, qualidade e custos variáveis.

- ✓ Tabelas de classificação de perdas elaborada pela empresa;
- ✓ Princípio utilizado para cálculo das perdas;
- ✓ Estruturação conceitual da composição das perdas;
- ✓ Valores de perdas encontrados a partir da aplicação do modelo da árvore de perdas;
- ✓ Estratificação de planta industrial dos grupos de perda.

Quanto aos dados relativos a implantação do seis sigma, as seguintes informações foram levantadas:

- ✓ Estruturação e planejamento do programa;
- ✓ Fluxo de definição de melhorias a partir da identificação das perdas;
- ✓ Informações de todas as etapas de condução de um projeto seis sigma na prática da empresa.
- ✓ Quantidade de projetos concluídos, pessoas treinadas e benefícios – estimados e realizados – com a implantação do programa.

Por fim, buscaram-se dados que pudessem mostrar a tendência das perdas ao longo de três anos de implantação das sistemáticas de forma integrada.

Da mesma forma como os dados foram coletados, o trabalho de pesquisa foi estruturado de maneira a refletir a seguinte seqüência:

- ✓ Estruturação do modelo da árvore de perdas;
- ✓ Definição dos referenciais comparativos pertinentes;
- ✓ Identificação e estratificação das perdas;
- ✓ Estruturação da metodologia seis sigma na empresa;
- ✓ Implantação de um projeto seis sigma;
- ✓ Tendência das perdas na empresa nos anos de 2002, 2003 e 2004;
- ✓ Indicadores de esforço (treinamento) e resultado (benefícios) acumulados nos projetos seis sigma.

Também foi aplicado um questionário aos principais gestores da empresa estudada, com o objetivo de verificar a percepção da liderança da empresa quanto ao resultado obtido com as sistemáticas. Esse instrumento de pesquisa buscou verificar o atendimento ao objetivo específico 5: Verificar a sinergia existente com a implantação das duas sistemáticas para identificação e eliminação das perdas. O questionário aplicado está demonstrado na Figura 16.

		Disordo	Disordo	Neutro	Concordo	Concordo
		Totalmente	parcialmente		parcialmente	Totalmente
		1	2	3	4	5
Árvore de perdas como sistemática para identificação de melhorias	1.0 - A sistemática da árvore de perdas me ajudou a visualizar as oportunidades de melhoria no processo					
	2.0 - A sistemática da árvore de perdas mostrou oportunidades de melhoria de processo que eu desconhecia					
	3.0 - Uso a sistemática da árvore de perdas para definir ações focadas no resultado da planta.					
Seis Sigma como sistemática para redução de perdas	4.0 - Os projetos seis sigma reduziram a variação dos processos industriais.					
	5.0- Os projetos seis sigma reduziram o nível de desperdícios dos processos.					
	6.0 - A sistemática do seis sigma ajudou a equipe de produção a "enxergar" ganhos financeiros nas atividades.					
Sinergia na integração entre as duas sistemáticas	7.0 - Considero a árvore de perdas como um "raio-x" para identificar desperdícios					
	8.0 - Considero que o seis sigma, através dos projetos, reduz as perdas do negócio.					
	9.0 - Os projetos seis sigma são identificados a partir das oportunidades levantadas a partir da árvore de perdas					
	10.0 - A integração das duas sistemáticas trouxe ganhos para a minha planta					
	11.0 - Considero que existe sinergia entre as duas sistemáticas					
	12.0 - A Empresa acertou ao integrar as duas sistemáticas.					

**Figura 16** - Questionário aplicado a liderança da UN3 para verificar a percepção sobre os resultados obtidos (Fonte: o autor)

Este questionário teve por objetivo coletar a perspectiva dos gestores da Unidade de Negócios estudada e foi dividido em três partes:

- ✓ Na primeira, buscou-se identificar a percepção dos líderes quanto aos benefícios da aplicação da sistemática da árvore de perdas ao negócio;
- ✓ A segunda teve por objetivo colher a opinião dos líderes quanto à efetividade da implantação do seis sigma e seus benefícios em termos financeiros;
- ✓ A última parte teve o intuito de colher a percepção dos líderes da UN3 quanto a aplicação conjunta das duas sistemáticas, baseado na sua experiência de implantação.

O questionário foi aplicado a dezessete líderes da UN3, divididos da seguinte forma:

- ✓ 1 Diretor Industrial;
- ✓ 5 Gerentes de Planta;
- ✓ 5 Coordenadores de Produção;

- ✓ 2 Gerentes de Manutenção;
- ✓ 1 Gerente de Qualidade e Produtividade;
- ✓ 3 Coordenadores de Manutenção;

### **3.6 Tratamento dos Dados**

Os dados coletados e avaliados neste projeto de pesquisa são apresentados sob a forma de tabelas e gráficos e técnicas de análises gráficas e estatísticas podem ser aplicadas para orientar as conclusões. O tratamento dos dados coletados é feito ao longo do capítulo 5 e logo após a análise destas informações é realizado o teste de hipótese para fornecer subsídio para a conclusão.

Os dados coletados a partir da aplicação do questionário aos líderes da empresa estudada são apresentados no capítulo 4 considerando a distribuição de frequência obtida de acordo com a escala utilizada – *Likert*.

O ultimo objetivo específico a ser verificado, o 3: Verificar se há a necessidade de alguma adaptação das sistemáticas para sua aplicação conjunta numa empresa de processos contínuos; é feito a partir da análise dos processos de implantação das sistemáticas. Os pontos a observados são:

- ✓ Árvore de Perdas:
  - Tipos de perdas;
  - Classes e Gêneros;
  - Cálculos dos *Gap's*
- ✓ Seis Sigma:
  - Etapas do projeto;
  - Ferramentas utilizadas;

Caso seja percebida alguma adaptação realizada nos modelos implantados em relação ao modelo conceitual, será considerada uma adaptação.

### **3.7 Limitações**

Algumas limitações foram identificadas ao longo desse trabalho:

- 1) O modelo da árvore de perdas foi aplicado apenas para processos produtivos. Os processos transacionais como logística, vendas, estoques, etc não foram contemplados nesse estudo, porém apresentam-se como potenciais fontes de perdas. Devido a dificuldade de levantamento de dados confiáveis e a limitação de tempo, foi decidido retirar essa análise do trabalho.
- 2) As referências utilizadas foram internas. Uma prática utilizada na evolução do modelo da árvore de perdas é o das referências externas, *benchmarks*, para comparação com os melhores da indústria para garantir que a firma está competitiva em relação aos melhores da indústria. Devido a inexistência dessa referência durante a execução desse trabalho, essas referências foram retiradas do escopo;
- 3) Da mesma forma que o exemplificado no item 2, a utilização de valores teóricos como referência no modelo testado pode indicar algumas oportunidades em inovação de ruptura tecnológica. Devido a limitações de tempo, essa análise não foi realizada
- 4) Uma variação da aplicação da sistemática do seis sigma é aplicado para novos processos, com o intuito de torná-los estáveis e com baixa variabilidade desde a sua implantação. Pelo fato da firma não ter o domínio pleno dessa metodologia (DFSS – Design For Six Sigma), projetos ainda não foram conduzidos, e por consequência não foram analisados.
- 5) Pode haver uma interferência de uma variável que gera forte impacto no custo variável, mas também exerce influência no IEG. A interdependência dos resultados com a variável pode gerar impactos tanto na tomada de decisão quanto na “contabilidade” dos resultados influenciando, por exemplo em dupla contagem. Por não ter essas informações / estudos definidos, alguns outliers podem ocorrer durante o processo de análise e conclusão.

## 4 IMPLANTAÇÃO CONJUNTA DA ÁRVORE DE PERDAS E DO SEIS SIGMA

### 4.1 Implantação da Árvore de Perdas

A implantação da árvore de perdas seguiu algumas etapas e, durante a sua implantação foram identificadas necessidades de adaptação nas categorias de perda.

#### 4.1.1 Procedimentos para estruturação da árvore de perdas

O procedimento descrito a seguir, pode ser expresso a partir do fluxo demonstrado na Figura 17.

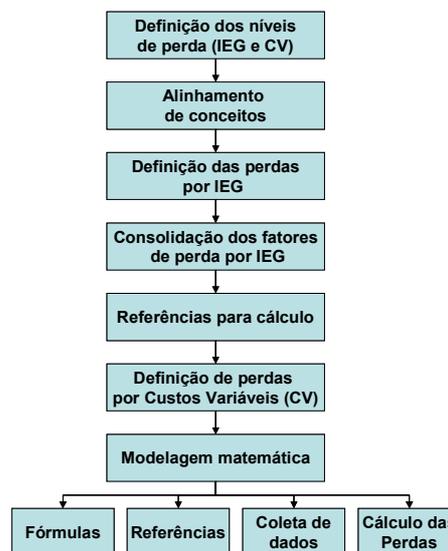


Figura 17 - Fluxo do procedimento adotado na implantação da Árvore de perdas (Fonte: o autor)

#### - Definição dos níveis de perda:

O passo inicial da concepção do modelo que teve por base a utilização daquele proposto por Suzuki (1994), consistiu na definição dos principais níveis da árvore. Um grupo composto por representantes das áreas de Produção, Manutenção e Planejamento Industrial, em cada planta, ficou incumbido de definir, em conjunto com a área corporativa de Qualidade e Produtividade, os itens que comporiam a estrutura da árvore.

Esse grupo definiu que, na chamada fase I do projeto, seriam avaliados o IEG e os custos variáveis, dado que o IEG foi identificado como um dos pontos importantes para se

analisarem as perdas por não utilização da capacidade do ativo e pelo fato dos custos variáveis serem responsáveis por, em média, 80% dos custos totais dos produtos. Um outro fator contribuiu para esta decisão: dado o prazo (quatro meses) definido para estruturação e análise do primeiro ano, uma estrutura com maior complexidade ou com a necessidade de se estabelecer referências ainda não estudadas – como o caso de logística – poderiam comprometer o prazo e a qualidade dos resultados gerados pelo modelo.

**- Alinhamento de conceitos:**

O segundo passo do trabalho consistiu do alinhamento dos conceitos utilizados no modelo. O objetivo desta fase foi o de ter a mesma compreensão dos termos utilizados e dos princípios de cálculo. Com isso, garantiu-se que a terminologia e o método de cálculo fossem os mesmos, independentemente da planta ou local geográfico onde a árvore estivesse sendo aplicada. Abaixo seguem alguns dos termos utilizados segundo o alinhamento geral realizado entre os conceitos do TPM e a prática da empresa.

- **Capacidade Instalada:** taxa de produção instantânea da unidade / planta / equipamento.  
Pode ser definida em base horária ou diária. Ex: t/h, t/dia;
- **Capacidade Nominal:** taxa instantânea de produção registrada na documentação de projeto, acumulada nos 365 dias ou nas 8760 horas do ano, conforme a base escolhida (horária ou diária). Na capacidade nominal NÃO se deve considerar fatores operacionais.
- **Capacidade da Campanha:** quantidade média produzida no período da campanha da unidade na capacidade nominal considerando-se o tempo de parada.  
ex.: Se a campanha de uma unidade for de 5 anos, a capacidade nominal for 50.000 toneladas por mês e o tempo de parada for de 1 mês, a capacidade da campanha será de  $(50.000 \times 59) / 60 = 49.167 \text{ t / mês}$ .

➤ **Capacidade Máxima Anual:** máximo da produção instantânea da unidade x 8760 horas ou 365 dias, conforme a base escolhida (horária ou diária). O máximo de produção a ser considerado pode ser obtido a partir de:

- testes de capacidade;
- capacidade nominal, caso não se conheça o limite da unidade ou caso a capacidade nominal não tenha sido ultrapassada;
- recorde de produção atingido de forma consistente. Como consistente entenda-se:
  - variáveis críticas de processo estáveis;
  - condições de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (SSMA) atendidas;
  - qualidade do produto mantida;
  - condição dos equipamentos sem degradação.

Nos casos das plantas de polímeros onde o grau a ser produzido afeta a taxa de produção da unidade, deve-se considerar o “*mix*” de produção típico em relação ao propósito da planta versus a margem de contribuição média.

**Capacidade Máxima Anual *Benchmark*:** Capacidade Máxima Anual, multiplicada pelo máximo de utilização da capacidade da planta de melhor performance. Nesta capacidade já estão incluídos: fator de operação, trocas de grade, qualidade de matéria-prima, etc. O propósito desse índice é comparar qual seria a utilização de capacidade de uma planta de alta performance se tivesse um ativo com a capacidade máxima anual igual a que está em estudo.

#### **Definição das perdas por Índice de Eficiência Global (IEG)**

O terceiro passo consistiu nas definições de perda por IEG. Nesta etapa foram conceituados, utilizando-se por base os conceitos do modelo de Suzuki (1994), os três tipos de perda adotados pelo modelo da empresa em estudo.

- **Perdas por Indisponibilidade:** é considerada perda por indisponibilidade toda vez em que não haja produção, ou seja, toda vez em que o produto principal da unidade não seja produzido por parada da planta. A sua quantificação é feita tomando-se por base a quantidade de horas da planta parada vezes capacidade máxima vezes a margem de contribuição unitária anual média.
- **Perdas por Redução de Capacidade:** é toda vez que a produção máxima da unidade não é atingida. Sua quantificação é feita considerando-se a diferença entre a quantidade real produzida e o máximo de capacidade da unidade x o tempo em que a unidade ficou com carga reduzida x a margem de contribuição unitária anual média.
- **Perdas por Produto *Off-Spec*:** É toda vez que a capacidade e outros recursos da unidade foram utilizados para produzir *off spec*. Sua quantificação: quantidade de *off spec* vezes a diferença de preço entre o produto prêmio e o produto *off*.
- **Índice de Eficiência Global (IEG):** é a diferença existente entre o máximo que a unidade produziria no ano (capacidade máxima anual) e o real *on spec* produzido. Sua quantificação é o somatório das perdas por indisponibilidade, por redução de capacidade e por produção *off spec*.

Na quarta etapa, buscou-se consolidar todos os possíveis fatores que pudessem levar a perda do IEG em cada uma das três perdas acima. O objetivo desta estratificação tem por base a maior facilidade de analisarem-se as causas das perdas e de poder se focalizar as ações para sua eliminação ou redução. No Quadro 2 e no Quadro 3 estão identificados os principais fatores por perda.

<p><b>P1 Perda por Indisponibilidade</b>  P1.1 Parada programada para manutenção  P1.2 Parada prog. p/ recuper. do catalisador  P1.3 Parada por falta carga  P1.4 Parada por mercado desfavorável  P1.5 Parada por quebra equipamento  P1.6 Parada por problema processo  P1.7 Parada por falha no suprimento de energia  P1.8 Parada para troca de tipo de produto  P1.9 Parada para teste de projeto</p>
--

**Quadro 2** - Fatores de perda P1. (Fonte: Empresa)

P3	Perda por Produto Não-Especificado
P3.1	Produto fora de especificação perdido
P3.2	Produto fora de especificação com restrição
P3.3	Produto degradado
P3.4	Produto recirculado ou reprocessado
P3.5	Varredura de pó
P3.6	Varredura de pellets
P3.7	Borra
P3.8	Resíduo
P3.9	Produto de teste
P3.10	Produto de transição (FEL, FEA, etc)

P2	Perda por redução de carga
P2.1	Redução por parada programada para manutenção
P2.2	Redução por parada prog. p/ recuper. do catalisador
P2.3	Redução por falta carga
P2.4	Redução por baixa qualidade da carga
P2.5	Redução por mercado desfavorável
P2.6	Redução por parada programada de cliente
P2.7	Redução por parada não-programada de cliente
P2.8	Redução por quebra de equipamento
P2.9	Redução por problema de processo
P2.10	Redução por falha no suprimento de energia
P2.11	Redução de carga durante partida/parada
P2.12	Redução para troca de tipo de produto
P2.13	Redução por modificação de projeto
P2.14	Redução por teste (capacidade, projeto, produto)
P2.15	Outras causas não registradas

Quadro 3 - Fatores de perda P3 (Fonte: Empresa)

Quadro 4 - Fatores de perda P2 (Fonte: Empresa)

### - Referências para cálculo:

Na quinta etapa do processo definiram-se os estágios para considerar os cálculos de perda. Esta definição é o que indica que referências serão utilizadas para o cálculo. Sendo assim, a empresa definiu três possíveis níveis de referências a serem aplicadas com as suas respectivas utilizações. A simplificação destas definições está exposta na Figura 18.

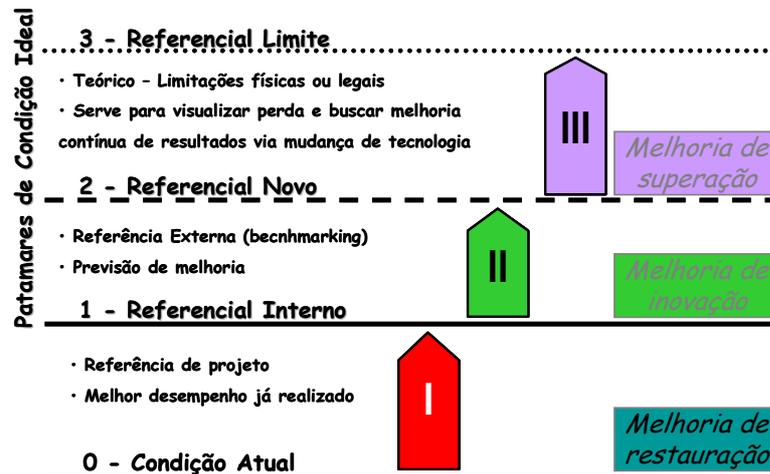


Figura 18 - Modelo de cálculo de perdas adotado pela empresa. (Fonte: Empresa)

### - Definição das perdas por custos variáveis:

Na Sexta fase do projeto definiu-se o modelo de cálculo dos custos variáveis seguindo os conceitos alinhados e definidos pelo grupo. Nessa fase, o grupo definiu a seguinte fórmula de cálculo para apurar os *gaps* em CV:

$$Gap_{CV} = [(\text{índice real} - \text{índice referência}) * \text{volume real produzido} * \text{Preço do insumo}]$$

Uma vez definida a forma de cálculo, foi necessário definir as categorias de perda para custos variáveis. E estes foram agrupados em classes e gêneros. O resultado final desta classificação pode ser visualizado na Quadro 5.

Perda	P1-P2-P3	P4	P5	P6			P7	P8	P9	P10	P11	P12	
Gênero	Produto Principal	Matérias-Primas	Crédito Produzido	Energéticos	Crédito Energético	Débito Energético	Insumos Utilidades	Outras Utilidades	Outros Insumos	Outros Créditos	Correntes para o Ambiente	Embalagens	
Classe	1	Produto Principal (PP)	Nafta (N)	Corrente Intermediária Produzida (CIP)	Energia Elétrica (EE)	Crédito EE (CEE)	Débito EE (DEE)	Combustíveis Adquiridos (CA)	Águas Consumidas (CW)	Produtos Químicos (PQ)	Sub-Produtos (SuP)	Emissão Atmosférica (EA)	Embalagem Exportação (EMBX)
	2	Produto Principal Off (PP)	Outras Matérias-Primas (OMP)	Coprodutos (CoP)	Vapor (V)	Crédito Vapor (CRV)	Débito Vapor (DRV)	Águas Brutas (BW)	Gases Industriais (GIC)	Solventes (Sol)		Água do Efluente Orgânico (AEO)	Embalagem Mercado Nacional (EMBN)
	3		Corrente Intermediária Consumida (CIC)	Combustíveis Produzidos (CP)	Combustíveis Consumidos (CC)			Energia Elétrica Adquirida (EEA)		Catalisadores (Cat)		Carga Orgânica do Efluente (COE)	
	4		Catalisador / Co-catalisador (CCC)					Gases Adquiridos (GIA)		Serviços Tratamento (ST)		Efluente Inorgânico (EI)	
	5		Aditivos (ADI)									Resíduo Sólido (RS)	

Quadro 5 - Classificação dos tipos de perda em custos variáveis (Fonte: Empresa)

**- Modelagem Matemática:**

O modelo estruturado para a análise das perdas da empresa em estudo pode ser conferido, então na seqüência da Figura 19, da Figura 20 e da Figura 21:

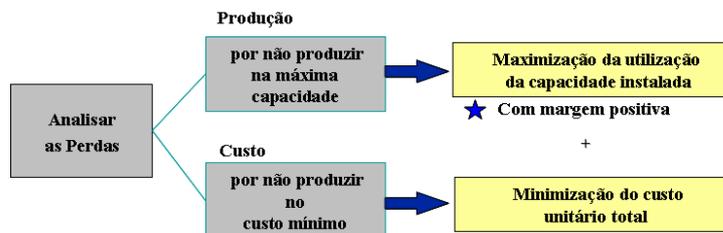


Figura 19 - Princípio utilizado para cálculo das perdas. (Fonte: Empresa)

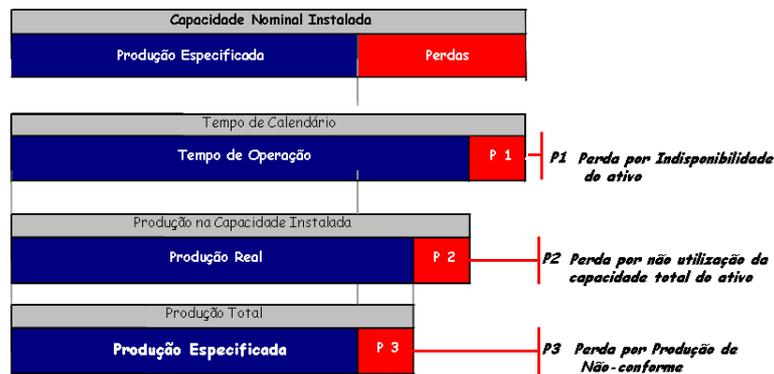
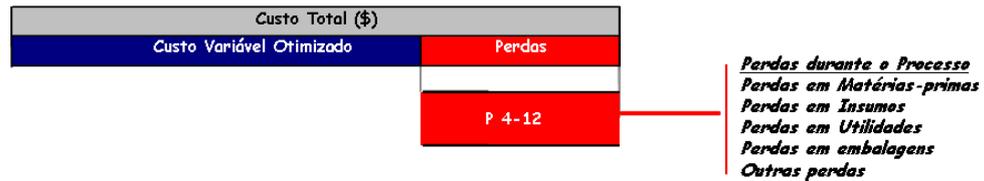


Figura 20 - Estruturação conceitual da composição das perdas por IEG. (Fonte: Empresa)



**Figura 21** - Estruturação conceitual das perdas em CV. (Fonte: Empresa)

As últimas fases do processo de estruturação do modelo consistiram da modelagem matemática em planilhas Excel, do levantamento das referências nível 1, ou seja, referências de projeto ou melhores marcas já alcançadas de forma consistente – o que fosse maior (no caso do IEG) ou menor (no caso do CV). Por fim, o levantamento dos dados do ano anterior, 2002 e o cálculo propriamente do volume das perdas utilizando o modelo.

#### 4.1.2 Levantamento das perdas

Os dados apresentados a seguir são referentes ao levantamento das perdas de uma das unidades de negócio da empresa Petroq1, em estudo. Os números a serem apresentados demonstraram uma proporcionalidade com os números reais obtidos nos estudos, mas não divulgados na sua íntegra por serem estratégicos para a empresa.

No início da análise das perdas, algumas premissas e objetivos foram estabelecidos e comunicados a todas as equipes envolvidas no trabalho. Os mais importantes estão listados abaixo:

- ▶ O estudo procurou manter as mesmas premissas utilizadas no primeiro levantamento (diagnóstico Petroq1 2002), mantendo os preços e as margens do primeiro ano de referência para efeito de comparação. Ele teve como principais objetivos:
  - ▶ Identificar e analisar as oportunidades existentes em relação à utilização da capacidade máxima das plantas (IEG), e desempenho dos índices técnicos dos custos variáveis.
  - ▶ Analisar a evolução da recuperação das oportunidades ano a ano, motivando a “aceleração” de ações que agregaram valor ao negócio e focando os pontos que mereceram maior atenção.
  - ▶ Servir como ponto de partida para:

- ▶ Implantação do Sistema de Produção da Empresa.
- ▶ Planejamento para a recuperação das perdas apresentadas, no horizonte 2003-2007.
- ▶ Identificação de desafios para os ciclos de planejamento estratégico.

A base de preços adotada foi congelada e mantida constante em todos os anos subseqüentes visando manter a base monetária de comparação constante e, com isso, isolar os efeitos de preço, focalizando nos aspectos operacionais que pudessem afetar diretamente a eficiência do processo produtivo da empresa.

Após estabelecidas as premissas e objetivos do trabalho, os dados foram levantados e inseridos no modelo. Tanto os dados referentes ao realizado no ano quanto as referências internas foram discutidos com as equipes de produção, engenharia, planejamento, finanças e qualidade e produtividade. Os dados validados foram inseridos no modelo e os resultados analisados sob a ótica dos eventos ocorridos e históricos registrados nos documentos da empresa.

O resultado do modelo aplicado a uma das plantas da unidade de negócios mostrou um volume de perdas considerado pelos gestores da planta e da Unidade como sendo uma “oportunidade” para direcionar ações específicas para eliminar os *gaps* mais importantes para aquela planta em particular. No caso específico desta planta industrial, as oportunidades se concentraram mais fortemente no IEG. Ao se analisar a unidade de negócios como um todo, pôde-se perceber não só os principais focos de oportunidade, como também a influência efetiva que determinadas plantas têm no resultado como um todo. Os resultados do modelo para a planta em estudo e para a Unidade, considerando o somatório de todas as plantas daquela Unidade de Negócios (UN3) encontram-se na Figura 22e na Figura 23:

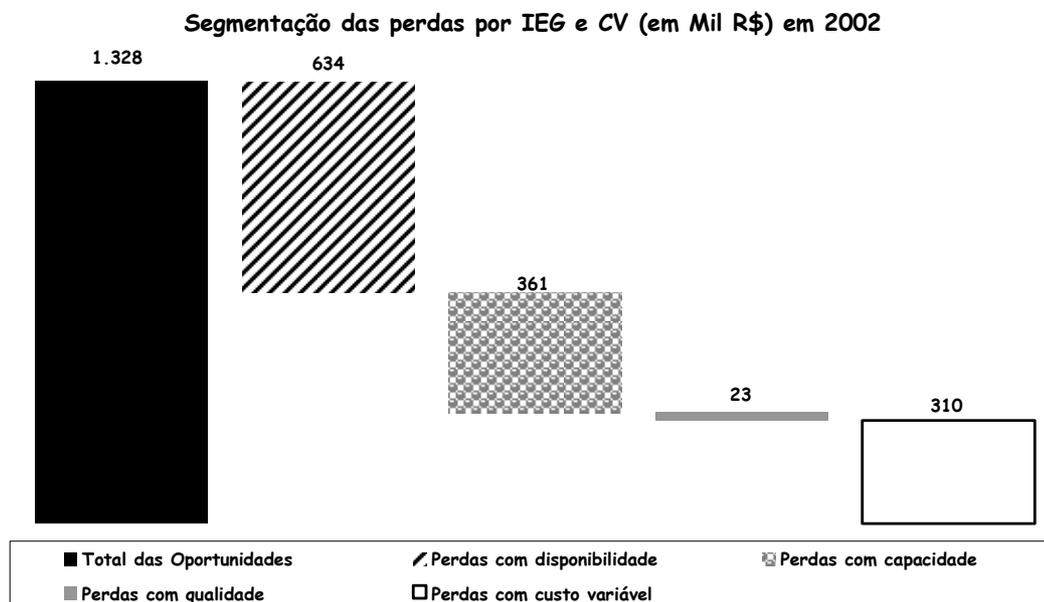
Produção Especificada		Perdas	<b>Árvore de Perdas Planta D - R\$ mil ( © Pregos Realizados em Dez/2002 )</b>		
				<b>2002</b>	
Tempo de Calendário		P 1	P1.1 Parada programada para manutenção	67	
Tempo de Operação			P1.2 Parada prog. p/ recuper. do catalisador	-	
			P1.3 Parada por falta carga	11	
			P1.4 Parada por mercado desfavorável	214	
			P1.5 Parada por quebra equipamento	34	
			P1.6 Parada por problema processo	9	
			P1.7 Parada por suprimento de energia / vapor	2	
			P1.8 Parada para troca de produto	2	
			P1.9 Parada para teste de projeto	0	
			P1.10 Parada por baixa qualidade da carga	-	
		P1.99 Outras Causas não registradas	-		
		<b>P1 Perda por Indisponibilidade</b>	<b>339</b>		
Produção na Capacidade Instalada		P 2	P2.1 Redução por parada program. para manut.	-	
Produção Realizada			P2.2 Redução por parada prog. p/ recuper. catal.	-	
			P2.3 Redução por falta carga	-	
			P2.4 Redução por baixa qualidade da carga	-	
			P2.5 Redução por mercado desfavorável	-	
			P2.6 Redução por parada programada cliente	-	
			P2.7 Redução por parada não-program. cliente	-	
			P2.8 Redução por quebra de equipamento	-	
			P2.9 Redução por problema de processo	-	
			P2.10 Redução por falha no suprim. de energia / vapor	-	
			P2.11 Redução de carga durante partida/parada	-	
			P2.12 Redução para troca de tipo de produto	-	
			P2.13 Redução por modificação de projeto	-	
			P2.14 Redução por teste (capacid., proj., produto)	-	
			P2.15 Redução por diferença em relação ao mix padrão	-	
		P2.99 Outras causas não registradas	21		
		<b>P2 Perda por Redução de Carga</b>	<b>21</b>		
<b>Produção Total</b>		P 3	P3 Perda por Produto Não-Especificado	13	
Produção Especificada					
			<b>P 1 - 3 Perda Total em IEG</b>	<b>373</b>	
<b>Custo Variável Total (\$)</b>		P 4-12	P4 Perdas em Matérias-Primas	84	
Custo Otimizado			P5 Perdas em Créditos Produzidos	-	
CV			P6 Perdas em Energia	12	
			P7 Perdas em Insumos de Utilidades	1	
			P8 Perdas em Outras Utilidades	0	
			P9 Perdas em Outros Insumos	6	
			P10 Perdas em Outros Créditos	-	
			P11 Perdas em Correntes para o Ambiente	1	
			P12 Perdas em Embalagens	-	
				<b>P 4 - 12 Perda Total em Custo Variável</b>	<b>104</b>
				P 1-12 Perda Total em Utilização da Capacidade Instalada e Custos Variáveis	<b>477</b>

Figura 22 - Resultado do modelo matemático da árvore de perdas aplicado a planta D pela empresa Petroq1. (Fonte: Empresa)

Produção Especificada		Perdas	Árvore de Perdas Petroq1- R\$ mil ( © Pregos Realizados em Dez/2002 )		
				<b>2002</b>	
Tempo de Calendário		P 1	P1.1 Parada programada para manutenção	98	
Tempo de Operação			P1.2 Parada prog. p/ recuper. do catalisador	-	
			P1.3 Parada por falta carga	22	
			P1.4 Parada por mercado desfavorável	317	
			P1.5 Parada por quebra equipamento	149	
			P1.6 Parada por problema processo	37	
			P1.7 Parada por suprimento de energia / vapor	7	
			P1.8 Parada para troca de produto	3	
			P1.9 Parada para teste de projeto	1	
			P1.10 Parada por baixa qualidade da carga	-	
		P1.99 Outras Causas não registradas	-		
		<b>P1 Perda por Disponibilidade</b>	<b>634</b>		
Produção na Capacidade Instalada		P 2	P2.1 Redução por parada program. para manut.	-	
Produção Realizada			P2.2 Redução por parada prog. p/ recuper. catal.	-	
			P2.3 Redução por falta carga	-	
			P2.4 Redução por baixa qualidade da carga	-	
			P2.5 Redução por mercado desfavorável	84	
			P2.6 Redução por parada programada cliente	-	
			P2.7 Redução por parada não-program. cliente	-	
			P2.8 Redução por quebra de equipamento	2	
			P2.9 Redução por problema de processo	-	
			P2.10 Redução por falha no suprim. de energia / vapor	151	
			P2.11 Redução de carga durante partida/parada	-	
			P2.12 Redução para troca de tipo de produto	-	
			P2.13 Redução por modificação de projeto	-	
			P2.14 Redução por teste (capacid., proj., produto)	-	
			P2.15 Redução por diferença em relação ao mix padrão	-	
		P2.99 Outras causas não registradas	125		
		<b>P2 Perda por Redução de Carga</b>	<b>361</b>		
Produção Total		P 3	P3 Perda por Produto Não-Especificado	23	
Produção Especificada					
			<b>P 1 - 3 Perda Total em IEG</b>	<b>1.019</b>	
Custo Total (\$)		P 4-12			
Custo Otimizado					<b>2002</b>
CV			P4 Perdas em Matérias-Primas	168	
			P5 Perdas em Créditos Produzidos	0	
			P6 Perdas em Energia	71	
			P7 Perdas em Insumos de Utilidades	27	
			P8 Perdas em Outras Utilidades	6	
			P9 Perdas em Outros Insumos	22	
			P10 Perdas em Outros Créditos	-	
			P11 Perdas em Correntes para o Ambiente	13	
			P12 Perdas em Embalagens	2	
			<b>P 4 - 12 Perda Total em Custo Variável</b>	<b>310</b>	
		<b>P 1 - 12 Perda Total em Utilização da Capacidade Instalada e Custos Variáveis</b>	<b>1.328</b>		

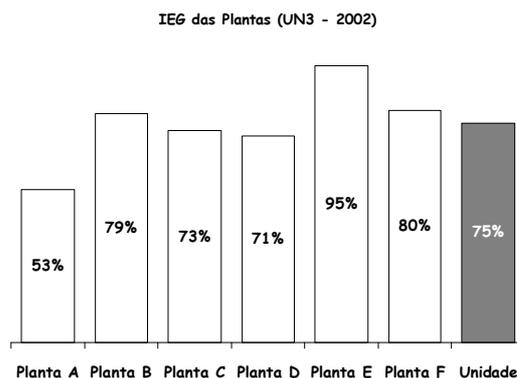
Figura 23 - Resultado do modelo matemático da árvore de perdas aplicado a UN 3 pela empresa Petroq1. (Fonte: Empresa)

Uma outra forma de ver as mesmas informações e que foi desenvolvida pela empresa, está representada na Figura 24.



**Figura 24** - Gráfico que representa as principais perdas da UN 3. (Fonte: Empresa)

Após o levantamento inicial, também foram calculados os IEG's de cada uma das plantas industriais e da Unidade de Negócios como um todo. Estas informações estão representadas na Figura 25. Os índices foram calculados pelo produto entre os três fatores: FD, FC e FQ – ou seja, Fator de Disponibilidade, Fator de Capacidade e Fator de Qualidade.



**Figura 25** – IEG das Plantas da UN3 (Fonte: Empresa)

Nesta análise preliminar não foi feita a normalização ou qualquer tratamento adicional em termos de tamanho das plantas ou idade tecnológica. Entretanto, o objetivo inicial não estava centrado em análises de *benchmark*, mas em ações locais a serem tomadas por cada uma das plantas para melhorar a utilização dos ativos industriais.

Após o levantamento inicial, algumas segmentações tiveram que ser feitas nas perdas associadas ao IEG para extrair ações que estariam ligadas diretamente à área industrial e às que seriam relacionadas a fatores exógenos, ou seja, relacionados a fatores externos à empresa. A segmentação foi realizada com o intuito de separar as quatro principais linhas de ação: Paradas, Falhas em equipamentos, falhas de processo e fatores externos.

Na primeira linha, estão classificadas todas as perdas que aconteceram devido a paradas para manutenção planejada, ou seja, todas as vezes em que uma parada para manutenção foi planejada para ocorrer. Ações nesta linha, estão associadas a otimização do tempo de parada e produtividade da manutenção, uma vez que a manutenção tem que ser feita nos equipamentos para mantê-los operando na melhor eficiência possível – ou seja, dentro das condições de projeto.

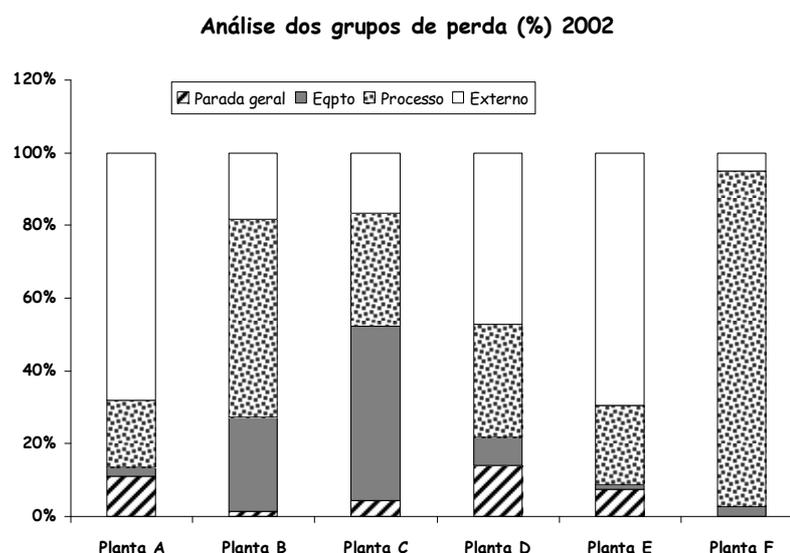
A segunda linha de perdas está relacionada a falhas ocorridas em equipamentos. O que diferencia esta linha da anterior é o fato desta linha ocorrer sem previsão, ou seja, a quebra do equipamento simplesmente ocorreu. Ações, então, devem ser tomadas no sentido de reduzir estas ocorrências, preferencialmente a zero.

Já na terceira linha, problemas de processo geraram perdas devido à variabilidade ou fatos indesejáveis ocorridos no processamento das matérias primas ou insumos, acarretando problemas com disponibilidade, capacidade, qualidade ou custos variáveis. Nessa linha, a recomendação feita pela área corporativa de Qualidade e Produtividade da empresa aponta para algumas ações relacionadas principalmente à aplicação da metodologia Seis Sigma visando a redução da variabilidade do processo.

Por fim, a quarta linha, está relacionada a fatores externos à empresa, na maioria das vezes ligados a mercado ou fornecimento de matérias-primas, insumos e energia. A priori, somente ações estratégicas podem reduzir ou eliminar esses *gaps*. As ações estratégicas, estão associadas: campanhas de propaganda, estudos de marketing, estratégias de suprimento,

dentre outras cujo objetivo é atingir áreas fora da empresa, como clientes e fornecedores estratégicos.

Na Figura 26 está o resultado da segmentação realizada para cada uma das plantas da UN3 em relação as principais linhas de perda.

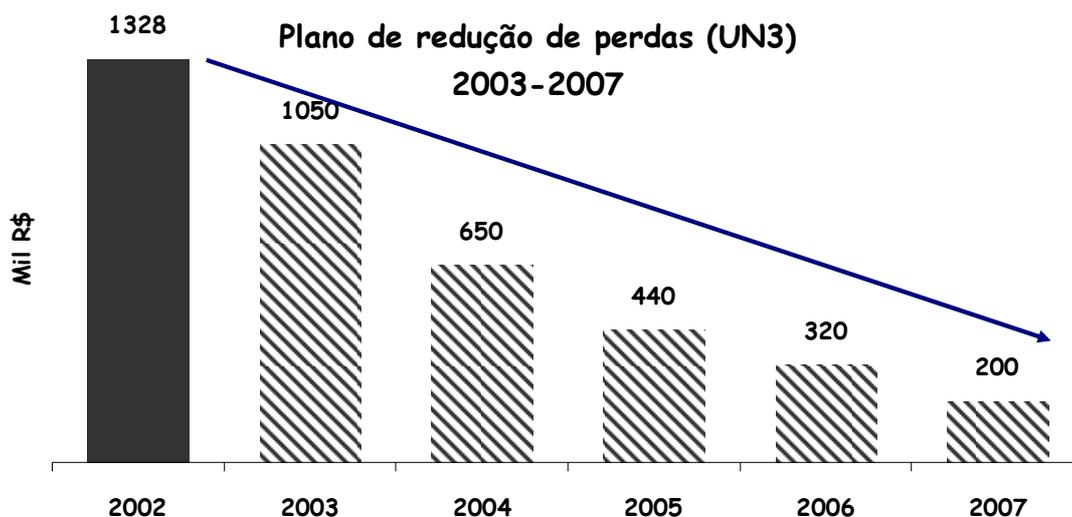


**Figura 26** - Segmentação por linha de perda para as plantas UN 3. ( Fonte: Empresa)

A partir de então, cada planta industrial da empresa desenvolveu um plano de ação que foi contemplado no planejamento estratégico com o objetivo de reduzir as suas perdas.

As principais ações sob a responsabilidade da área industrial da empresa, estavam relacionadas ao aumento do IEG, aumentando a disponibilidade e utilização da capacidade das plantas, e a melhoria de eficiência no que diz respeito aos índices de consumo, o que gera impacto nos custos variáveis.

O resultado do plano de ação da UN3 pode ser representado na Figura 27.



**Figura 27** - Plano de redução de perdas para a UN 3. (Fonte: Empresa)

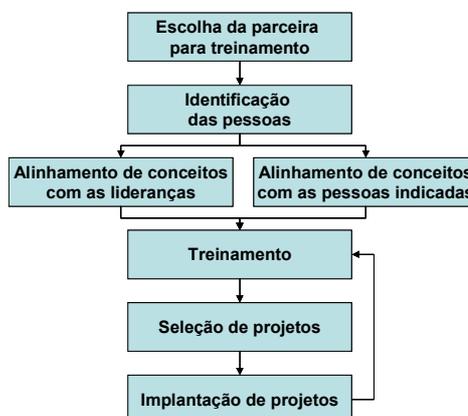
Uma das ações identificadas pela empresa foi associada à aplicação da metodologia Seis Sigma para redução de variabilidade dos processos. A estratégia de implantação será abordada a seguir.

Os resultados obtidos a partir das ações serão abordados nas conclusões.

## 4.2 Implantação do Seis Sigma

### 4.2.1 Procedimentos para implantação do seis sigma

Os passos para implantação do Seis Sigma na UN3 estão descritos a seguir e podem ser resumizados na Figura 28.



**Figura 28** - Fluxo do processo de implantação do Seis Sigma na UN3 (Fonte: o autor)

A empresa decidiu, ao final do ano de 2002, implantar a metodologia do Seis Sigma de forma corporativa. Até então, apenas uma das unidades de negócio fazia utilização dessa metodologia como forma de reduzir a variabilidade dos processos e garantir a sua estabilidade.

Inicialmente, uma empresa parceira foi escolhida para realizar o treinamento das turmas e o material didático e abordagem teórico-prática foram definidos em conjunto.

Cada líder industrial identificou e indicou pessoas que, a partir do treinamento, pudessem conduzir os projetos de melhoria alinhados com os objetivos estratégicos.

Dois seminários foram realizados: um com as lideranças industriais e comerciais e outro com aquelas pessoas indicadas a participar do treinamento. O objetivo desses dois seminários foi alinhar os conceitos da metodologia e os objetivos estratégicos. Nestes seminários foram definidos: o perfil das pessoas que liderariam os projetos seis sigma; o roteiro e os critérios para identificação dos projetos seis sigma potenciais; a forma de alinhamento com os planos de ação individuais e como medir os resultados auferidos.

Os principais pontos abordados no seminário estão descritos abaixo:

- ⇒ Objetivos do treinamento e papel do “treinando”:
  - Desenvolver habilidades nas sistemáticas de melhoria, em pessoas-chave das unidades de negócio da empresa, de forma a garantir o resgate das oportunidades identificadas, sem ou com baixo investimento.
  - Disseminar a melhoria contínua nos processos de trabalho.
  - Criar a cultura de geração e proteção de valor.
  - Identificar novas oportunidades de aplicação das sistemáticas (inovação e replicação).
  - Desenvolver uma atitude questionadora e fortemente baseada em análise de dados.

- Obter ganhos nas tarefas do dia-a-dia através da aplicação de método para a solução de problemas.
- ⇒ Identificação dos talentos para desenvolvimento das habilidades e condução de projetos de melhoria:
- Capacidade de assumir desafios;
  - Postura de agente de mudanças;
  - Visão de processos;
  - Liderança;
  - Trabalho em Equipe;
  - Foco no resultado;
  - Conhecimento do negócio;
  - Habilidade numérica;
  - Comunicação;
  - Habilidade em Tecnologia de Informação;

O Curso básico de formação na metodologia Seis Sigma teve a abrangência voltada para a melhoria em processos e teve a duração de 40 horas. O curso foi composto de aulas teóricas sobre a sistemática e aplicações práticas em classe. Além disso, um projeto de melhoria envolvendo um caso de aplicação no dia-a-dia da UN, identificado a partir do desdobramento da árvore de perdas e alinhado às metas teria que ser conduzido num período médio entre 6 e 12 semanas. Durante a condução do projeto, os participantes contaram com o suporte dos especialistas na sistemática que integravam a área corporativa de Qualidade e Produtividade da empresa. Os projetos de melhoria foram conduzidos pelo treinando, mas suportados por um time multifuncional selecionado por ele. Por fim, uma vez concluído o projeto, ele foi submetido a avaliação e validação das sistemáticas utilizadas e dos benefícios financeiros alcançados.

Após a validação do projeto, este foi submetido à empresa parceira no treinamento e, em caso de aprovação, o treinando foi certificado na sistemática, com o título de “*Green Belt*”, uma das classificações do Seis Sigma.

O programa de treinamento foi composto dos seguintes temas:

- ▶ Visão Geral do 6 Sigma®
- ▶ CTQ's – Critico para a Qualidade
- ▶ Mapeamento de Processos
- ▶ Análise de Sistemas de Medição
- ▶ Capacidade Sigma
- ▶ Estatística Básica
- ▶ Distribuições de Probabilidade
- ▶ Sistemáticas Básicas da Qualidade
- ▶ Análise do Modo e Efeito da Falha (FMEA)
- ▶ Testes de Hipóteses
- ▶ Teste Qui-quadrado
- ▶ Correlação e Regressão Simples
- ▶ Análise de Processos
- ▶ Conceitos Básico de Manufatura Enxuta
- ▶ Benchmarking
- ▶ Padronização de Processos
- ▶ Sistema a Prova de Falhas (Poka Yoke)
- ▶ Gráficos de Controle para Variáveis
- ▶ Gráficos de Controle para Atributos

Por fim, os principais fatores críticos e critérios para a identificação e seleção de projetos foram compartilhados com o grupo:

- ▶ Fatores críticos:
  - ▶ Apoio das lideranças;
  - ▶ Apoio dos especialistas;
  - ▶ Dedicção do treinando ao projeto;
  - ▶ Escolha do time de projeto;
- ▶ Critérios para escolha de um projeto:
  - ▶ Nível de complexidade:
    - ▶ Verificar as interrelações;
    - ▶ Verificar o escopo (plantas => planta => sistema => grupo de equipamentos => equipamento);
  - ▶ Facilidade de medição;
  - ▶ Disponibilidade de dados;
  - ▶ Definição de indicadores;
  - ▶ Facilidade de “enxergar” os benefícios;

Um último ponto alinhado nos seminários foi realizado com o fluxo utilizado para identificação, definição e condução das melhorias, separando aquelas com investimento das sem investimento. Um resumo do fluxo está definido na Figura 29.

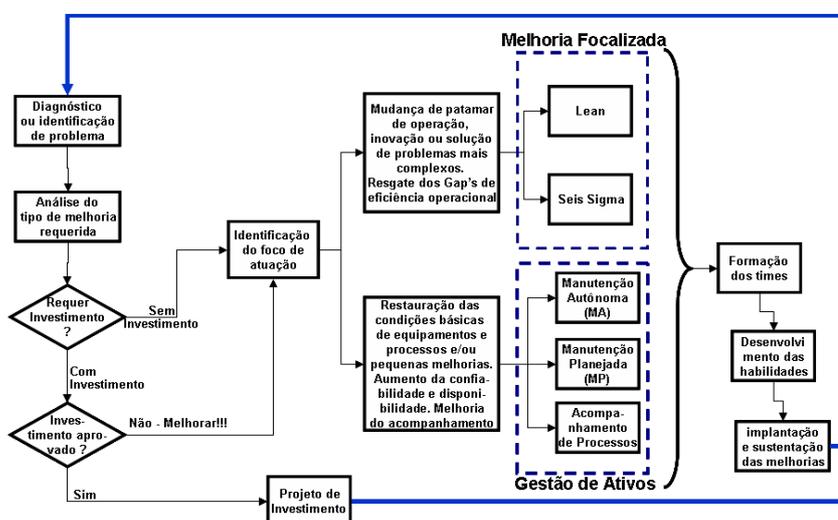


Figura 29 - Definição do fluxo de melhorias para a Petroq1. (Fonte: Empresa)

Cada Unidade de negócio da empresa definiu, então, os seus projetos de melhoria e os responsáveis por conduzir os projetos em suas plantas industriais.

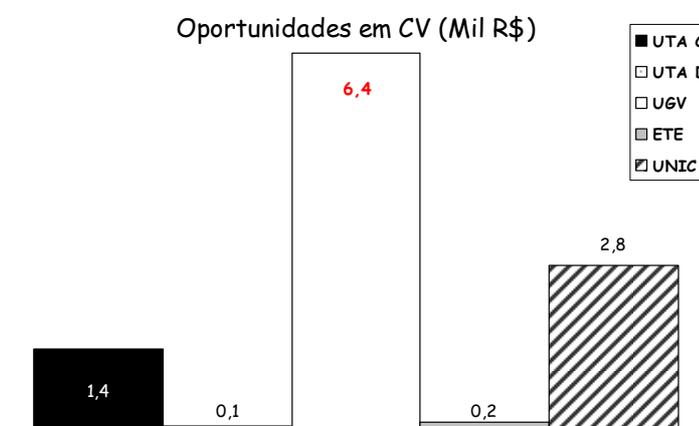
Abaixo, encontra-se um modelo de projeto Seis Sigma conduzido por um dos *green belts* de uma das plantas industriais da UN3.

#### 4.2.2 Exemplo de condução de um projeto seis sigma

O exemplo a seguir detalha a aplicação do seis sigma na melhoria do processo de geração de vapor em uma unidade de fornecimento de utilidades (águas, vapor, energia elétrica, etc) da UN3.

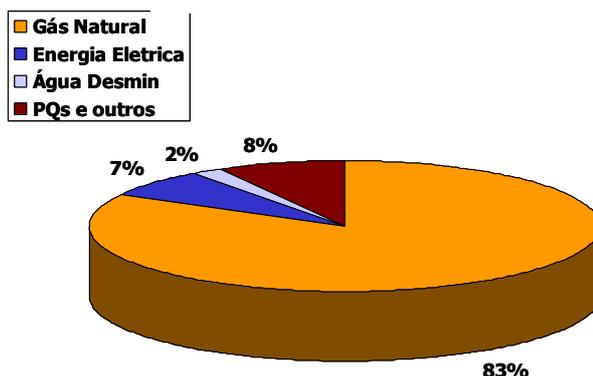
A abordagem seguiu as etapas na seqüência proposta pela sistemática.

- a. **Definição:** Foi realizada uma avaliação detalhada das oportunidades de melhoria que poderiam ser implantadas nas instalações industriais da planta. Para tanto, empregou-se a “Árvore de Perdas”, que comparou a performance do ativo em 2002 com a a performance esperada de projeto, uma vez que aquela planta não havia conseguido, ainda, ultrapassar os valores projetados. Essa avaliação incluiu: utilização da capacidade, geração de produtos fora de especificação e custo variável. A Figura 30 demonstra o resultado final da análise:



**Figura 30** - Identificação de perdas em CV numa das plantas da UN3 a partir da árvore de perdas. (Fonte: Empresa)

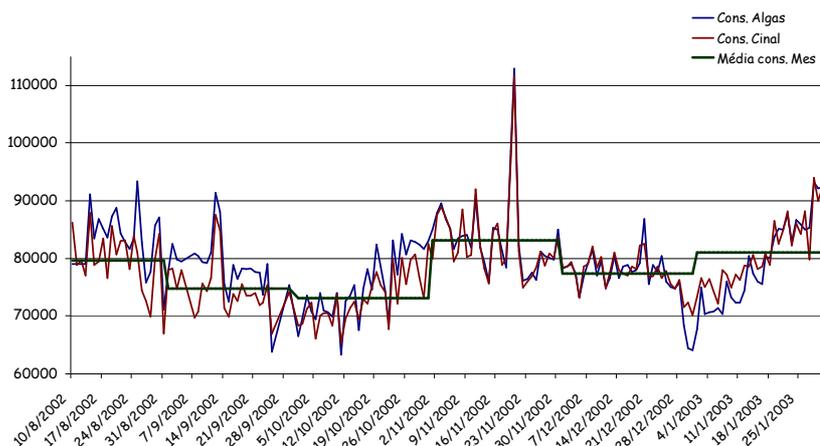
A unidade de geração de vapor foi a principal responsável pelos desvios de performance em custos variáveis ao longo do ano em estudo. Identificado o principal item de impacto em custo variável nessa unidade de geração de vapor foi identificado como sendo o gás natural, conforme ilustrado na Figura 31.



**Figura 31** - Identificação do principal componente em CV para geração de vapor da planta em estudo. (Fonte: Empresa)

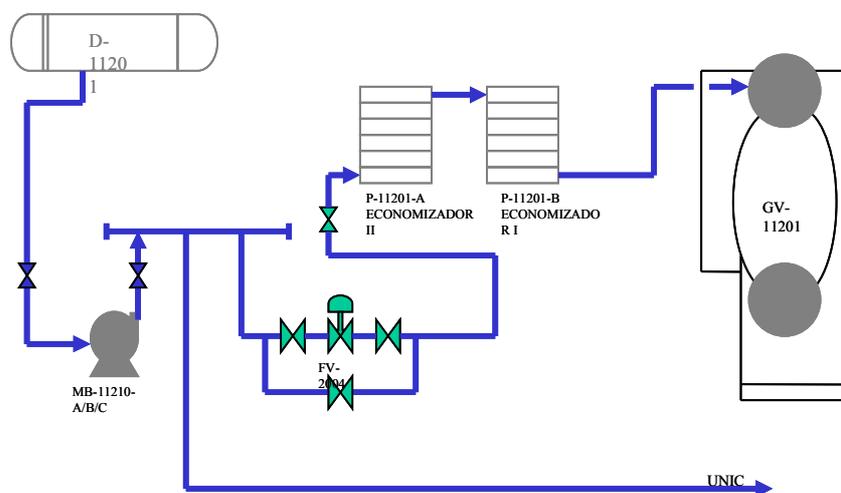
Uma vez definido o foco do “projeto de melhoria”, foram identificadas as pessoas que poderiam compor a equipe do projeto. Essa definição teve, por critério, o envolvimento das pessoas de acordo com o seu potencial de contribuição para gerar conhecimento sobre o processo e para solucionar o problema (reduzir o consumo específico de gás natural). Além disso, foram definidas as primeiras metas de redução de consumo e calculados os benefícios que seriam auferidos. O passo seguinte foi reunir o time de projeto, alinhar os conceitos básicos do trabalho e da sistemática a ser utilizada.

b. **Medição:** Nessa etapa foram feitas as análises prévias sobre o comportamento do consumo de gás ao longo do tempo, as comparações dos valores medidos internamente e os valores faturados pela empresa de fornecimento, expressos na Figura 32.



**Figura 32** - Verificação do comportamento do consumo de GN e da correlação com o faturamento. (Fonte: Empresa)

Além desta análise prévia sobre o comportamento do consumo de gás natural, o time de projeto realizou o mapeamento de todo o processo, identificando os “*inputs*” e “*outputs*” de cada uma das principais atividades mapeadas, conforme identificado nas Figura 33 e na Figura 34.



**Figura 33** - Levantamento do fluxo físico de Matérias-primas e produtos acabados. (Fonte: Empresa)

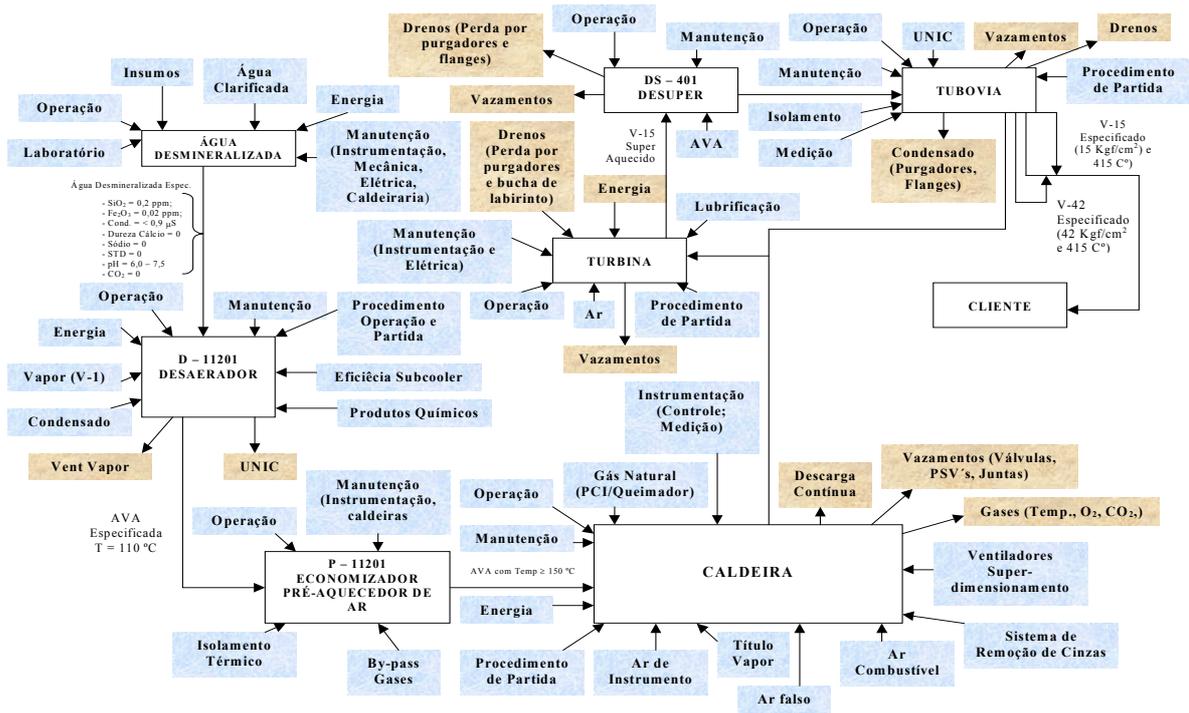


Figura 34 - Fluxo lógico de inputs / outputs do processo. (Fonte: Empresa)

c. **Análise:** Na etapa de análise foi feito o estudo da capacidade do processo em atender as metas do projeto, levando-se em conta a sua variabilidade. Essa análise pode ser entendida a partir da Figura 35.

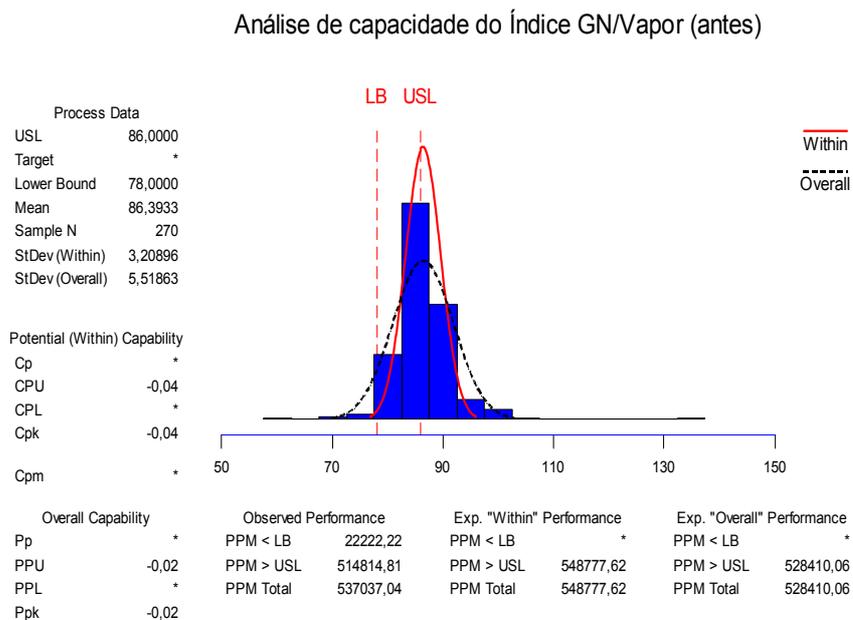


Figura 35 - Análise de capacidade do processo em termos de consumo de vapor. (Fonte: Empresa)

O estudo de capacidade do processo demonstrou que este não seria capaz, conforme análise de dados históricos, de atender às especificações do projeto, uma vez que a média da distribuição dos dados coincidia praticamente, com o limite superior de especificação, o que daria uma probabilidade de falhas, ou seja, de consumo específico de gás acima do esperado em aproximadamente 52% dos casos, ou seja, em 528.000 vezes em cada 1.000.000 de oportunidades. Neste caso, o processo sequer poderia ter o seu valor sigma calculado.

A partir desse estudo de variabilidade, foram levantadas todas as fontes possíveis de variação e como poderiam ser eliminadas. Para tanto, utilizou-se o diagrama e a matriz de causa e efeito, empregando-se análise dos 6 M's como possíveis fontes de variação (Material, Método, Mão de obra, Meio ambiente, Máquina e Medição). O resultado final deste trabalho encontra-se resumido na Figura 36:

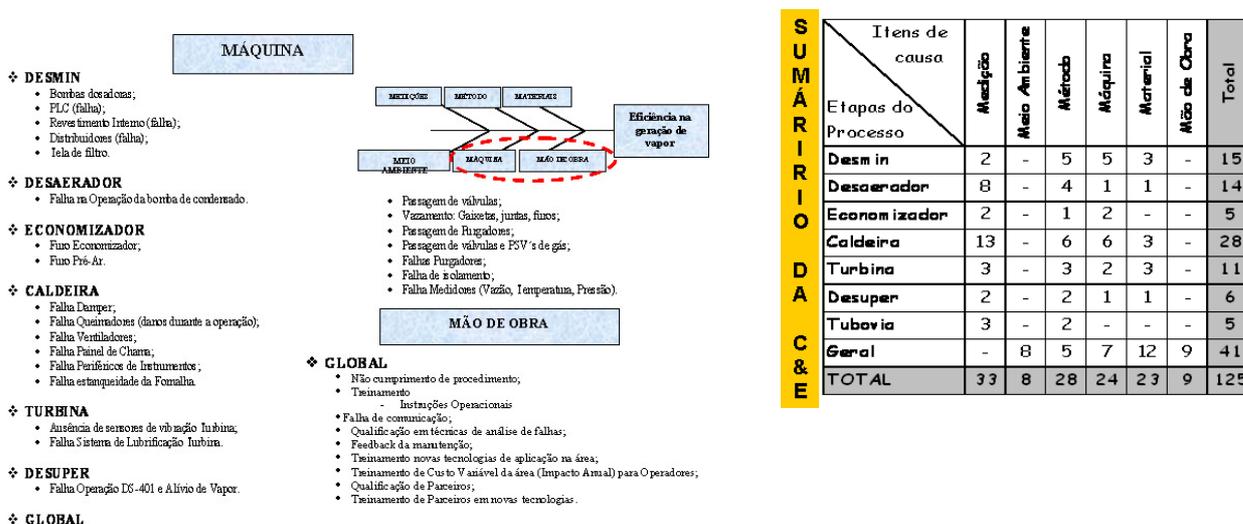
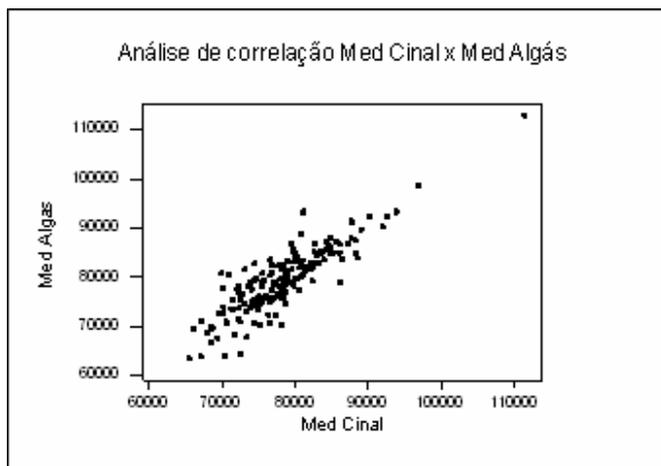


Figura 36 - Exemplo de aplicação do diagrama de C&E e resultado final da sua aplicação. (Fonte: Empresa)

Além do estudo de variabilidade, fez-se um estudo de correlação entre as medições de consumo interno e aquelas constantes no faturamento. Esta análise demonstrou que os sistemas de medição, além de guardarem correlação, poderiam ser considerados capazes de atender às especificações do projeto. O gráfico da correlação está representado na Figura 37:

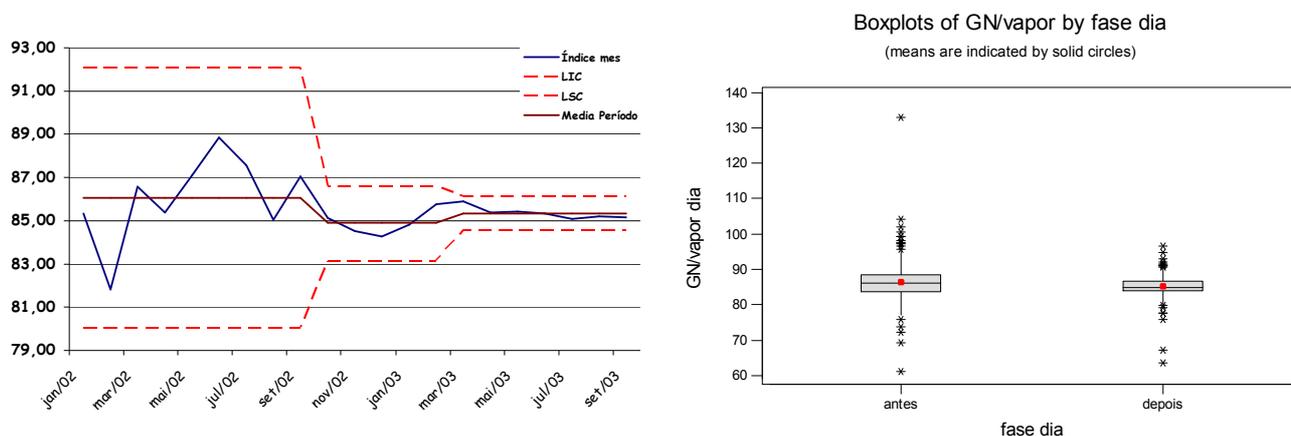


**Figura 37** - Gráfico de correlação entre os sistemas de medição. (Fonte: Empresa)

Como resultado dessa fase, o time elaborou uma lista de possíveis causas responsáveis pela variabilidade no consumo de gás natural. Também foram identificadas ações de implantação imediata e sem investimento como por exemplo a revisão de procedimentos, treinamento e alinhamentos conceituais entre os grupos de operadores, seminários para troca de experiências operacionais, conscientização, revisão de planos de manutenção, dentre outros. Também identificou outras ações de médio e longo prazos, além de necessidades de investimento para modernização e recuperação de condições básicas do ativo.

d. **Implementação das melhorias:** Após levantar as 125 possíveis causas de variação nas diversas fases do processo de geração de vapor, foi feita uma priorização e, para cada uma das causas priorizadas, foi desenvolvido um plano de ação para implantação das melhorias identificadas. Ao final do plano, 35 ações foram implementadas, desde as mais simples ações como mudança de procedimentos operacionais, treinamento e alinhamento de conceitos até implementações físicas como substituição de purgadores, mudança de frequência dos planos de manutenção e colocação / substituição de medidores e alarmes nos painéis de controle do processo. O custo total das implementações foi da ordem de R\$ 667,00. Após todas as melhorias de curto prazo e algumas de médio terem sido implementadas, o processo foi novamente estudado para validar se as ações foram efetivas. A Figura 38 demonstra: 1- a redução da variabilidade do consumo de gás natural

ao longo do tempo à medida que as melhorias foram sendo implantadas e 2 - a validação estatística na qual se objetiva verificar se o processo sofreu mudanças após as melhorias implementadas.



**Figura 38** - Redução gradativa da variabilidade do consumo específico do vapor e sua verificação estatística. (Fonte: Empresa)

Por fim, a Figura 39, realiza a análise estatística *Two-sample T*, cujo objetivo é verificar se o conjunto de dados, neste caso, antes e após implantação das melhorias, podem ser considerados como parte integrante do mesmo conjunto ou de conjuntos de dados diferentes. A comparação da média e desvio padrão dos dois conjuntos de dados indicou, neste caso, com 95% de confiança, que o conjunto de dados antes da implementação é estatisticamente diferente do conjunto de dados após o projeto. Desta forma, o teste verificou a hipótese abaixo:

#### Two-Sample T-Test and CI: GN/vapor dia; fase dia

Two-sample T for GN/vapor dia

fase dia	N	Mean	StDev	SE Mean
antes	270	86,39	5,51	0,34
depois	301	85,16	2,93	0,17

Difference = mu (antes ) - mu (depois)

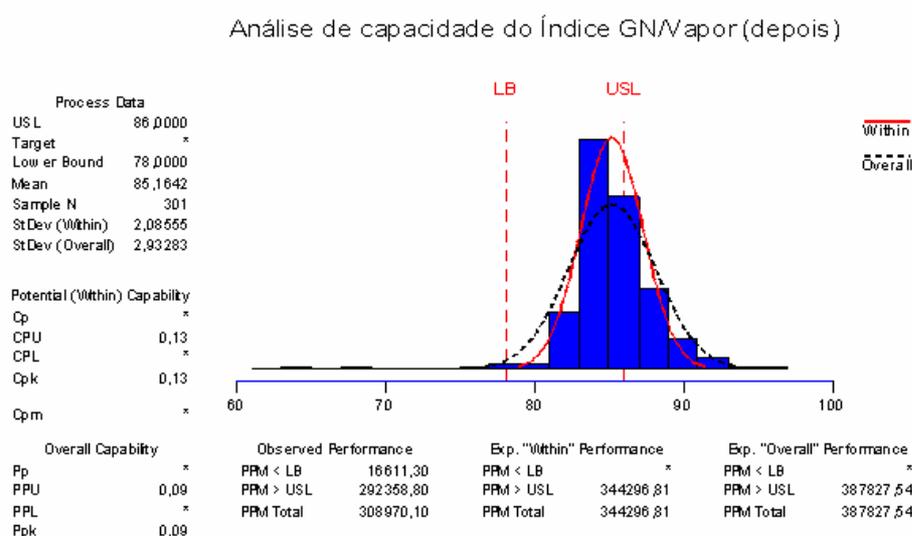
Estimate for difference: 1,229

95% CI for difference: (0,491; 1,968)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 3,27 P-Value = 0,001 DF = 399

**Figura 39** - Análise estatística para verificação da significância da mudança no processo a partir de seus dados antes e depois das melhorias. (Fonte: Empresa)

Também foi realizada uma nova análise de capacidade do processo após implantação das mudanças para verificação do seu novo estado. Os dados após implantadas as melhorias mostram uma situação em que a probabilidade de 387.000 em 1.000.000 das vezes, o limite superior esperado poderá ser ultrapassado. A situação anterior demonstrava uma probabilidade de violação do limite superior de 585.000 vezes em 1.000.000 de oportunidades. O processo passou a assumir um valor de 0,3 sigmas contra uma situação anterior de -0,12 sigmas. A avaliação destes dados mostrou uma evolução em relação a situação anterior do processo, entretanto ainda demonstra muito espaço para melhoria, A Figura 40 mostra a melhoria na redução da variabilidade do processo.



**Figura 40** - Análise de capacidade do processo após as primeiras mudanças implantadas. (Fonte: Empresa)

Análise da hipótese proposta:

#### a. Efetividade de um projeto de melhoria de processo na empresa estudada

- Hipótese nula (Ho1): a adoção da metodologia seis sigma na empresa estudada, através da análise do projeto gerou melhoria que propiciou uma mudança significativa na redução de variabilidade do processo estudado, *versus* a Hipótese alternativa (Ha1) de que a utilização da metodologia não foi suficiente para gerar uma mudança significativa.

O teste *Two-sample T* validou a hipótese de que os conjuntos de dados obtidos antes e após as melhorias implantadas são estatisticamente diferentes. Já as análises realizadas na Figura 38 e

na Figura 40 demonstram a redução da variação do processo e redução da média, o que, neste caso indicam a melhoria do processo e aumento da capacidade, que se refletem na redução do consumo. Com isso, podemos assumir a hipótese nula  $H_0$  como verdadeira e descartar a hipótese alternativa.

Por fim, foi realizada a validação financeira, ou seja, foram calculados os impactos no custo variável em função da redução do consumo específico de gás.

e. **Controle:** Nesta última fase do projeto, o time elaborou o plano de controle que teve por objetivo definir como as melhorias deveriam ser sustentadas ao longo do tempo. Esse plano passou por estabelecer procedimentos e “*troubleshooting*” associados a alarmes e cartas de controle estatístico de processo, cujo objetivo foi estabelecer ações pró-ativas para antecipar possíveis eventos que poderiam tender a tirar o processo de controle e, portanto de perder o ganho alcançado. O valor calculado pelo time e validado pela área financeira da empresa apontou para economias na ordem de R\$ 3,33 mil/ano em redução de consumo de gás e eliminação de perdas de vapor.

No final, todo o projeto foi documentado e os conhecimentos adquiridos pelo time foram compartilhados através de *workshops* e palestras com todos os integrantes da planta e as metas de orçamento e custos variáveis revisadas para o ano seguinte.

Os resultados finais das iniciativas Seis Sigma serão consolidados nas conclusões.

## **4.3 Resultados Obtidos**

### **4.3.1 Benefícios da aplicação do Seis Sigma**

Ao longo de 2003 e 2004, a UN3 identificou e treinou na sistemática Seis Sigma aproximadamente 50 profissionais das diversas áreas da empresa, sendo a sua maioria representantes da área industrial, ligados, principalmente a engenharia e operação. Nas

últimas turmas, também se observou um aumento na frequência de representantes da área de manutenção.

Ao final da última turma de treinamento, realizada em 2004, a empresa fez um balanço dos benefícios alcançados com os projetos implantados. O resultado sumarizado da análise feita pela UN3 em relação a empresa pode ser visualizada na Figura 41.

UN	Site	Área	Benefícios			Projetos			
			Estimado (Mil R\$ / ano)	Alcançado (Mil R\$ / ano)	Qtde	Hold	On going	concluído	Pessoas Trainadas
UN3			32	37	25	0	15	10	49
TOTAL Petroq1			102	96	49	3	28	18	93

**Figura 41** - Análise sumarizada da aplicação do Seis Sigma na UN3. (Fonte: Empresa)

Pela análise dos dados coletados, pôde-se identificar as seguintes relações:

- ✓ Dos 49 projetos iniciados na Petroq1 ao longo do período, 25 (aproximadamente 50%) foram realizados na UN3. Dos 18 totais concluídos, 10 foram na UN3. E dos R\$ 96 mil alcançados como retorno<sup>2</sup>, R\$ 37 mil foram provenientes da UN estudada.
- ✓ Considerando-se apenas a UN3, a relação retorno estimado versus realizado no período foi de 1,156. Ou seja, realizou-se 15,6% a mais do que o que foi projetado no período de implantação da metodologia. Este é um fator positivo posto que a expectativa da empresa, em termos de benefício esperado, foi superada. A taxa interna de retorno de investimentos, adotada pela empresa, considerava, no período em estudo 13,5% como sendo atrativo e a relação  $VPL / investimento \geq 1,0$ .
- ✓ Taxa de benefício por projeto: R\$1,48 mil / projeto. Esta relação representa uma base para estabelecer o plano de benefícios esperados num ano. A empresa, no seu ciclo de planejamento pode, então, estabelecer uma expectativa de benefícios por quantidade de projetos a serem implantados por ano.

<sup>2</sup> Considerou-se no cálculo do valor de retorno para os projetos da empresa, o valor líquido dos benefícios alcançados descontando-se custos necessários para implantação das melhorias, quando foram necessários.

- ✓ Taxa de benefício por pessoa treinada: R\$ 0,76 mil / projeto. Este indicador pode ser utilizado para calcular quantos projetos ou em quanto tempo é estimado para que o investimento feito em treinamento será retornado por cada pessoa treinada na metodologia. Neste caso, considerando-se que o investimento em treinamento é de R\$ 0,35 mil por pessoa, é necessário apenas um projeto por pessoa para que o investimento realizado na pessoa seja retornado. Como a empresa pretende, em seu plano estratégico estabelecer como meta a condução de 2 projetos por ano por pessoa treinada, pode-se concluir que para cada R\$ 1 investido numa pessoa, o benefício esperado será de R\$ 4,3 de retorno. Esta representa uma taxa de retorno bastante atrativa para a empresa.

A aplicação da metodologia Seis Sigma teve um benefício que se verificou na redução de perdas relacionadas a custos variáveis, na redução de paradas não programadas por problemas de processo e na redução de perdas por qualidade de produto.

Entretanto, a aplicação da metodologia não foi a única estratégia de melhoria utilizada pela empresa. Ações ligadas à utilização de sistemáticas relacionadas a manutenção foram utilizadas para reduzir as perdas por falhas de equipamento.

Também, ações relacionadas às áreas de suprimento e vendas, foram adotadas, no sentido de se minimizar os impactos gerados pelo mercado e pelo suprimento de matérias-primas.

A aplicação do Seis Sigma teve, contudo, um valor adicional, no que diz respeito a construção de uma cultura baseada na utilização de dados para a tomada de decisões e da abordagem sistemática na avaliação de problemas e oportunidades de melhoria.

Tanto a utilização da sistemática e sistemáticas da metodologia, quanto a construção de um aprendizado organizacional gerado a partir da interação dos times de projeto podem ser reconhecidos como os principais benefícios intangíveis por parte da empresa.

Uma das etapas finais de qualquer projeto realizado na empresa consta do registro e compartilhamento dos conhecimentos adquiridos além das principais lições aprendidas com o projeto, sejam elas técnicas, conceituais ou humanas. Este também constitui um benefício adicional da metodologia para a empresa.

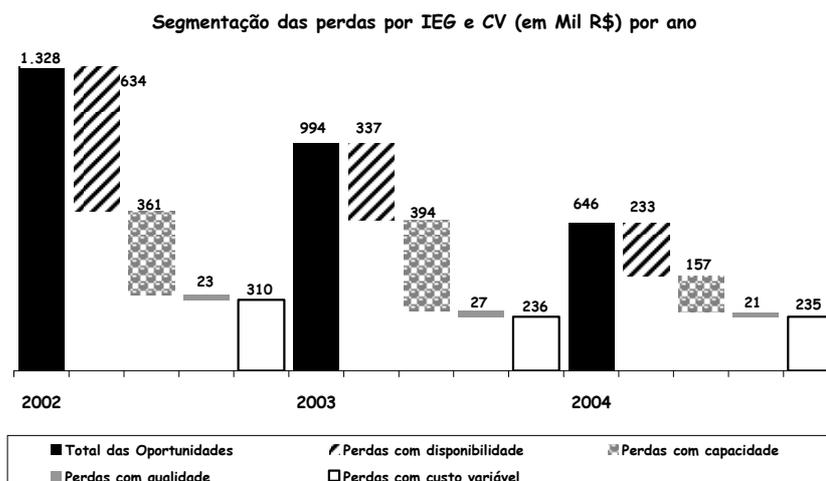
Análise da suposição proposta:

#### **b. Implantação da metodologia seis sigma**

- Suposição 2 (S2): a relação entre o esforço empreendido pela empresa e os resultados obtidos através da implantação do modelo se mostrou atrativa dado que o esforço foi menor do que o resultado alcançado. A relação retorno real *versus* investimento foi de  $[R\$ 37 / (R\$ 0,35 * 49) = 2,16]$  - ou seja, para cada R\$1,00 investido – esforço – houve R\$ 2,16 de retorno – resultado. Considerando que os valores se perpetuem por cinco períodos (investimento e retorno) e aplicando-se a TIR de 13,5% - considerada pela empresa como atrativa para aquele período - o VPL encontrado aponta para R\$ 103,00 e a relação VPL sobre investimento para 1,2. Como a empresa considera atrativos empreendimentos que tenham uma relação de VPL/investimento  $> 1$ , pode-se, então, aceitar a suposição como verdadeira para a empresa estudada.

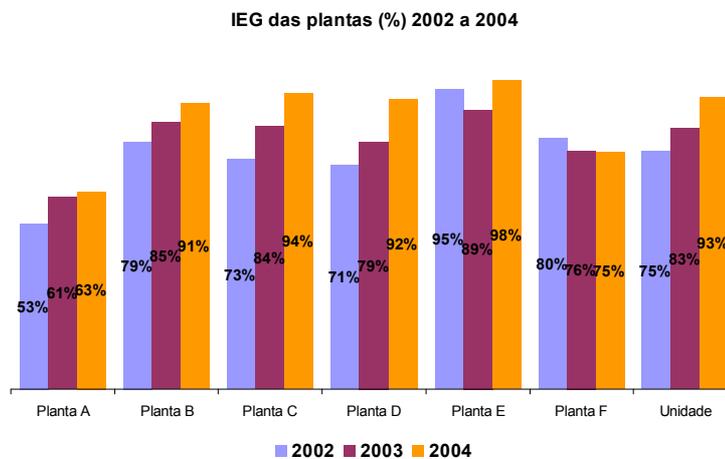
#### **4.3.2 Redução das Perdas**

A mensuração dos resultados através dos anos subseqüentes ao ano de 2002 mostrou o valor da aplicação de uma estrutura de análise e interpretação de resultados e o direcionamento de ações alinhadas ao objetivo do negócio. Como se pode observar na Figura 42, as 4 principais perdas identificadas na UN3 foram sendo consistentemente eliminadas.



**Figura 42** - Análise da árvore de perdas na UN3 nos anos 2002-2004. (Fonte: Empresa)

Da mesma forma, foram mensurados os resultados de IEG das plantas ao longo dos anos. A Figura 43 demonstra que, com exceção da planta F, todas as demais plantas tiveram aumento da utilização de seus ativos. Como resultado, a UN3 teve um aumento de utilização dos seus ativos.

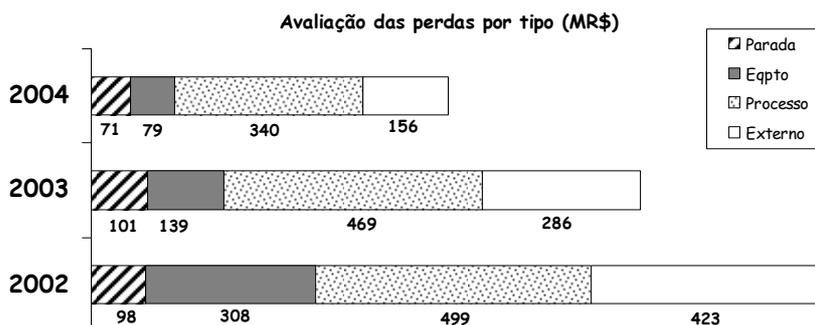


**Figura 43** – IEGs das plantas da UN3 entre 2002 e 2004 (Fonte: Empresa)

Pela análise dos resultados representados acima, pode-se verificar que ações foram tomadas no sentido de melhorar o Índice de Eficiência Global (IEG), principalmente relacionado ao aumento da disponibilidade dos ativos no primeiro ano. Já no ano seguinte, 2004, as ações foram mais imperativas no sentido de se buscar utilizar de maneira mais eficiente a capacidade dos ativos.

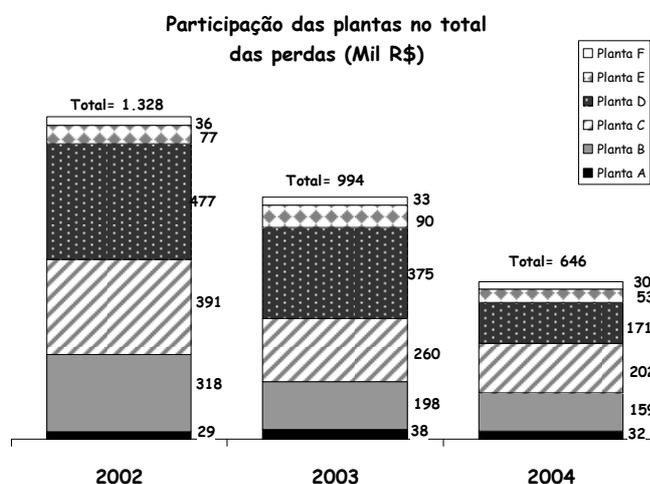
Conforme mencionado anteriormente, a aplicação da sistemática do seis sigma teve influência na redução destas duas perdas através da estabilização dos processos, reduzindo a sua variabilidade.

Também as ações relacionadas a fatores externos tiveram um impacto considerado positivo na redução do volume de perdas. A Figura 44 demonstra as duas afirmações.



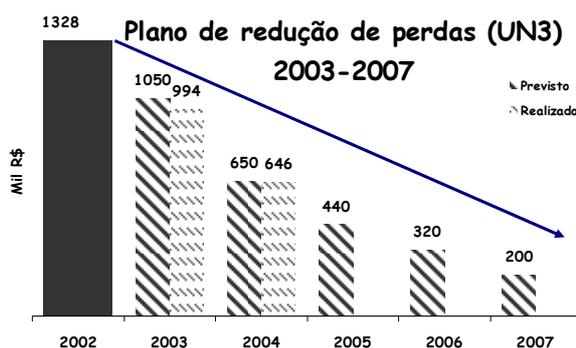
**Figura 44** - Análise da árvore de perdas na UN3 nos anos 2002-2004 relacionado aos tipos. (Fonte: Empresa)

Além disso, uma outra análise foi realizada no sentido de se identificar em quais das plantas daquela UN3 dever-se-ia focalizar com maior cautela, ou maior prioridade, as ações mais importantes e proceder com um acompanhamento mais efetivo. Na Figura 45, mostra-se que as plantas D, C e B, respectivamente, apresentavam maior importância no item das perdas. Estas plantas são também aquelas que representam o maior impacto em termos de resultados para a Unidade de Negócio estudada.



**Figura 45** - Análise das perdas na UN3 nos anos 2002-2004 por planta. (Fonte: Empresa)

Por fim uma consolidação foi realizada no sentido de se observar a aderência entre o plano de recuperação das perdas proposto no primeiro ano do trabalho e os resultados obtidos ao longo dos anos de sua utilização como referência para tomada e priorização de ações. A Figura 46 mostra as perdas identificadas e aquelas previstas a partir do planejamento realizado pela UN3.



**Figura 46** - Plano de redução de perdas da UN3 – Previsto versus realizado. (Fonte: Empresa)

A partir da análise gráfica da figura em referência podem-se identificar os seguintes pontos:

- ✓ A empresa definiu uma taxa de redução de aproximadamente 20% no primeiro ano e 40% no segundo ano.
- ✓ Os resultados obtidos pela empresa, através da aplicação conjunta das sistemáticas, indicaram uma superação de aproximadamente 6% em relação ao planejado no primeiro ano e de aproximadamente 1% em relação ao segundo ano.

Para se testar a suposição de que a implantação da árvore de perdas na empresa estudada gerou resultados significantes no sentido de identificar e eliminar perdas no negócio considerou-se uma abordagem quantitativa e outra, qualitativa.

Na abordagem quantitativa, observou-se que as ações adotadas na aplicação da sistemática geraram reduções nas perdas na ordem de R\$334 no primeiro ano e R\$348 no segundo ano. Considerando uma amostra aleatória simples, tais resultados permitem inferir que a redução média nas perdas é maior do que R\$252, com 95% de confiança. Aplicando-se o teste t de Student para uma média simples, obtém-se uma estatística  $t=48,7$ . Considerando-se um teste

unilateral ( $t_{\text{crítico},1\%,1\text{gl}}=31,82$ ), rejeita-se a hipótese nula com 1% de significância. Isto permite afirmar que o resultado obtido é significativo, ou seja, que a implantação combinada da árvore de perdas e do seis sigma na empresa estudada gerou resultados significantes no sentido de identificar e eliminar perdas no negócio.

Da mesma forma, analisando-se os incrementos nos níveis de IEG atingidos pela UN3 pode-se observar uma utilização de 8% em 2003 e 10% em 2004. Considerando-se uma amostra aleatória simples, estes resultados permitem inferir que o incremento de IEG médio da UN3 é maior do que 2,69%, com 95% de confiança. O teste t de Student para uma média simples, aponta para uma estatística  $t = 9 \%$ . Considerando-se um teste unilateral ( $t_{\text{crítico},5\%,1\text{gl}}=6,31$ ), rejeita-se a hipótese nula com 5% de significância. Isto permite afirmar que o resultado obtido é significativo, ou seja, que a implantação da árvore de perdas na empresa estudada gerou resultados significantes no sentido de aumentar o Índice de Eficiência Global da UN3.

Na abordagem qualitativa, foi considerado que as perdas identificadas a partir da sistemática da Árvore de Perdas foram reduzidas consistentemente ao longo dos anos 2002, 2003 e 2004, tanto considerando-se o IEG quanto o Custo Variável. Finalmente, o plano de redução das perdas atingiu e até superou os objetivos originais. Por isso, entende-se que pode-se adotar a hipótese alternativa como verdadeira e rejeitar a hipótese nula.

### **4.3.3 Repostas ao Questionário**

Após a aplicação do questionário aos líderes da UN3 para coletar dados sobre a sua percepção das sistemáticas e da sinergia entre elas, a média das distribuições foi compilada no Quadro 6:

	Discordo Totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo Totalmente	
	1	2	3	4	5	
Árvore de perdas comosistemática para identificação de melhorias	0	0	2	9	6	Frequências
Seis Sigma como sistemática para redução de perdas	0	0	1	11	5	
Sinergia na integração entre as duas sistemáticas	0	0	1	11	5	
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	
Árvore de perdas comosistemática para identificação de melhorias			12%	53%	35%	% Frequências
Seis Sigma como sistemática para redução de perdas			6%	66%	28%	
Sinergia na integração entre as duas sistemáticas			6%	66%	28%	
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8%</b>	<b>63%</b>	<b>29%</b>	

**Quadro 6:** Compilação das respostas ao questionário sobre sinergia das sistemáticas (Fonte: o autor)

Com base nos resultados colhidos a partir do questionário aplicado aos líderes da UN3, as principais conclusões que podem ser tiradas são:

- ✓ 88% dos líderes da UN3 concordam total ou parcialmente com a afirmação da sistemática da árvore de perdas como identificação para melhorias;
- ✓ 94% dos líderes concordam total ou parcialmente no seis sigma como sistemática redução de perdas;
- ✓ 94% dos líderes concordam total ou parcialmente nos benefícios obtidos a partir da integração das duas sistemáticas;
- ✓ Não houve discordância parcial ou total em nenhuma das afirmações;

A partir destas informações é possível concluir que a liderança da UN3 percebeu benefícios na implantação das sistemáticas e achou que houve sinergia entre as duas sistemáticas. Pelas informações qualitativas coletadas durante a aplicação do questionário, os líderes na sua maioria, perceberam benefícios na implantação das sistemáticas: a árvore de perdas identificando as oportunidades de melhoria e o seis sigma na eliminação das perdas, sobretudo em custos variáveis.

Análise da suposição proposta:

**c. Sinergia entre as duas sistemáticas (Seis Sigma e Árvore de Perdas)**

- Suposição 3 (S3): a integração das duas sistemáticas – árvore de perdas e seis sigma – na empresa estudada gerou benefícios no sentido de identificar e eliminar perdas no negócio, dada a análise dos resultados obtidos.

A partir da análise dos dados apresentados no item 4.3.2, pode-se chegar as seguintes conclusões:

- ✓ As perdas identificadas a partir da sistemática da Árvore de Perdas foram reduzidas consistentemente ao longo dos anos 2002, 2003 e 2004, tanto considerando-se IEG quanto Custo Variável (Figura 42);
- ✓ Todas as plantas apresentaram redução nas perdas identificadas no mesmo período (Figura 45);
- ✓ As quatro categorias identificadas – Paradas, Equipamentos, Processo, Externo – apresentaram redução ao longo dos anos de estudo (Figura 44);
- ✓ O plano de redução das perdas atingiu e até superou os objetivos originais (Figura 46)

Levando-se em consideração que as duas sistemáticas foram implantadas simultaneamente em todas as plantas da UN3, pode-se inferir que houve benefício nessa implantação.

Porém a sua confirmação só pôde ser realizada a partir da análise dos dados colhidos no questionário aplicado a liderança da empresa. O item 4.3.3 traz as principais informações que respaldam a sua conclusão e indicam que a liderança da UN3 concorda total ou parcialmente que as duas sistemáticas trouxeram benefícios para a empresa: a árvore de perdas indicando as oportunidades e o seis sigma reduzindo consistentemente as perdas identificadas.

Por isso, pode-se considerar a suposição 3 como verdadeira.

Conforme referenciado nos itens 4.2.2, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, pôde-se analisar as suposições, chegando-se aos seguintes resultados:

<b>Objetivo</b>	<b>Suposição</b>	<b>Item analisado</b>	<b>Evidência</b>	<b>Conclusão</b>
Específico 1	Parte da formulação da Suposição 3 e verificado através da aplicação de um questionário de percepção dos líderes.	4.3.3	Quadro 6 – parte 1 => 88% dos líderes da UN3 concordam total ou parcialmente com a afirmação da sistemática da árvore de perdas como identificação para melhorias	A sistemática da árvore de perdas pode, neste projeto de pesquisa, ser considerado como uma fonte para identificação de perdas e oportunidades trazendo retorno para empresa estudada.

Específico 2	S1 e S2. Além da análise do VPL/investimento comparando-se com os valores de referência adotados para aprovação de atratividade de projetos.	4.2.2, 4.3.1	Figura 38, Figura 39, Figura 40, Figura 41 e relação: retorno real / investimento (2,16). Quadro 6 – parte 2 => 94% dos líderes concordam total ou parcialmente no seis sigma como sistemática redução de perdas	A implantação do Seis Sigma trouxe retorno financeiro para a empresa, que pôde ser evidenciado tanto a partir dos resultados analisados como pela percepção dos líderes da empresa.
Específico 3	Não houve formulação de suposição. Comparou-se os modelos propostos na revisão bibliográfica e os modelos implantados na empresa estudada.	20, 2b, 4.1e 4.2	Seis Sigma: Figura 9 e Figura 10 Árvore de Perdas: Figura 6, Figura 7, Figura 18, Figura 19, Figura 20 e Figura 21	Não houve necessidade de adaptações na implantação do seis sigma que pudessem ser consideradas significativas em relação ao modelo conceitual. Já no caso da implantação da Árvore de perdas, algumas adaptações tiveram que ser feitas no tocante a classes e gêneros de perdas que representassem a realidade da empresa. Entretanto, não houve uma mudança significativa que pudesse ser considerada uma divergência conceitual.
Específico 4 e Geral	S 3	4.3.2 e 4.3.3	Figura 42, Figura 44, Figura 45, Figura 46 e Quadro 6 parte 3 => 94% dos líderes concordam total ou parcialmente nos benefícios obtidos a partir da integração das duas sistemáticas;	Pôde-se observar um benefício na implantação conjunta das duas sistemáticas: a Árvore de Perdas identificando as oportunidades e o Seis Sigma obtendo benefícios com a redução de variabilidade dos processos.

**Quadro 7:** Compilação e análise das suposições e evidências com os objetivos de pesquisa (Fonte: o autor)

#### 4.4 Restrições da análise

Alguns casos de restrição ou alguns cuidados a serem tomados foram identificados nos processos de análise das perdas.

Não foram feitas análises em processos transacionais como Logística, vendas e estoques.

Nesses casos, deve-se buscar levantar dados e referências para construir um modelo de árvore de perdas específico.

A compra de matérias-primas pode influenciar de forma significativa no custo variável. Nesse caso, um modelo de avaliação baseado no impacto das escolhas de preços e condições de compra pode ser uma boa opção.

Não foi realizada análise utilizando referenciais externos – competidores e melhores plantas.

A árvore de perdas pode ser adaptada para realizar essa análise.

Da mesma forma, é considerada uma boa prática utilizar referenciais teóricos para estimular a busca por tecnologias de maior eficiência, extraindo o melhor dos recursos disponíveis. Nesse projeto não foi realizada essa análise. Entretanto, é possível, a partir do modelo construído, modificar as referências.

A empresa estudada ainda não realizou projetos de melhoria baseado no DFSS (*Design For Six Sigma*), cujo objetivo é definir e implantar processos com baixa variabilidade. Esse tema pode ser de grande interesse.

Nas análises realizadas pode existir uma correlação ou interferência que determinadas categorias de perda podem ter umas com as outras. Um caso típico refere-se a determinados índices de consumo específico, notadamente aqueles referentes a consumo energético, têm com o IEG. Abaixo de 85% de utilização de capacidade, estes coeficientes podem afetar negativamente o CV e podem mascarar a análise das ações a serem tomadas para eliminação das perdas.

Um outro caso crítico pode estar relacionado a programação de paradas para manutenção programada. Notadamente esta indústria é marcada por períodos de operação contínua, denominada de campanha, e por necessidade de intervenção em grandes manutenções periódicas, normalmente em intervalos de 3 anos, que têm duração entre 20 e 30 dias naquele ano. A perda do histórico de manutenção pode mascarar as ações no sentido de poder concluir, erroneamente, que, naquele ano, as perdas por disponibilidade foram excessivamente elevadas e que, portanto, algo pode ter saído errado.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusões

Este trabalho de pesquisa procurou, ao longo do seu desenvolvimento, levantar evidências que pudessem responder a seguinte problemática levantada: Posto que o cenário da indústria petroquímica brasileira e seus desafios pela competitividade levam a uma necessidade de concorrer em nível mundial, seria, a princípio, uma boa estratégia, associar as sistemáticas da árvore de perdas com o seis sigma, que normalmente são aplicadas de forma isolada e em processos discretos combinando-as de maneira sinérgica?

Esta problemática foi, então desdobrada nos objetivos desta pesquisa:

- Objetivo Geral: analisar os resultados obtidos com o uso conjunto das sistemáticas “Árvore de perdas” e do Seis Sigma e as perdas identificadas num processo petroquímico contínuo;
- Objetivos Específicos: Para se atingir este objetivo geral, torna-se necessário responder a questões associadas à aplicação das duas sistemáticas ao impacto de sua implantação nos resultados alcançados pela empresa e na forma como estes se refletem na sua competitividade. Sendo assim, os objetivos específicos deste trabalho, podem ser resumidos em:
  - Identificar se a aplicação da sistemática da “Árvore de Perdas” do TPM serviu como forma de identificação de perdas e oportunidades para trazer retorno a uma empresa do setor petroquímico - estudada.
  - Verificar a utilização da aplicação da sistemática do Seis Sigma como forma de eliminar ou reduzir as perdas identificadas, trazendo retorno para uma empresa do setor petroquímico - estudada.

- Verificar se há a necessidade de alguma adaptação das sistemáticas para sua aplicação conjunta numa empresa de processos contínuos.
- Aplicar as sistemáticas de maneira conjunta em uma empresa do setor petroquímico.

Para tanto, três suposições foram levantadas para serem utilizadas na avaliação dos dados coletados na empresa:

**a. Efetividade de um projeto de melhoria de processo na empresa estudada**

- (S1): a adoção da metodologia seis sigma na empresa estudada, através da análise de um projeto gerou melhoria que propiciou uma mudança significativa na redução de variabilidade do processo estudado.

**b. Implantação da metodologia seis sigma**

- (S2): a relação entre o esforço empreendido pela empresa e os resultados obtidos através da implantação do modelo se mostram atrativas dado que o esforço foi menor do que o resultado alcançado.

**c. Sinergia entre as duas sistemáticas (Seis Sigma e Árvore de Perdas)**

- (S3): a integração das duas sistemáticas – árvore de perdas e seis sigma – na empresa estudada gerou benefícios no sentido de identificar e eliminar perdas no negócio, dada a análise dos resultados obtidos.

Com base nos resultados colhidos nesse trabalho de pesquisa e apresentadas de forma integrada no Quadro 7 foi possível confirmar as três suposições puderam ser confirmadas e validadas.

Em geral, para um negócio como o petroquímico, onde a produção em altos volumes é um fator de competitividade, a análise das perdas de produção por indisponibilidade ou por capacidade – por não produzir na capacidade máxima – é fundamental para que se possa atuar preventivamente na confiabilidade de equipamentos e processos. Além disso, perdas por qualidade, que na maioria das vezes recaem em re-processo ou degradação de preços, afetam

diretamente os custos e, na maioria das vezes, em perda de capacidade. O modelo proposto por Suzuki (1994) e por Takahashi e Osada (1993) para o cálculo do Índice de Eficiência Global (IEG), mostrou-se aplicável a empresa estudada por ser capaz de mostrar onde estariam os principais pontos de perda no IEG. Um outro ponto do modelo da árvore de perdas aplicado a empresa em estudo, foi o da identificação dos pontos de ineficiência no consumo de matérias-primas, utilidades e materiais auxiliares. Para a indústria petroquímica, principalmente a primeira geração, onde os produtos se assemelham a *comodities*, a estratégia competitiva mais utilizada é a liderança em custos. Sendo assim, torna-se fundamental para uma empresa desta indústria saber identificar onde seu processo produtivo pode ser otimizado de forma a, sistematicamente, reduzir as perdas relativas a consumos de materiais e energia que impactam os custos. Pequenas adaptações tiveram que ser feitas no modelo implantado na empresa, com o objetivo de adequar a realidade das perdas da UN3 ao modelo teórico e, com isso, obter benefícios customizados para o negócio.

A árvore de perdas desenvolvida pela empresa mostrou-se uma sistemática eficiente de identificação e priorização dos pontos de perda a serem atacados.

Já o seis sigma, embora tenha tido um histórico de implantação em empresas de processo discreto, na maioria das vezes em empresas de montagem, mostrou-se uma sistemática de larga aplicação para redução de variabilidade de processos, com destaque especial para a redução de custos variáveis. No exemplo de aplicação escolhido para ilustração e análise deste trabalho, o seis sigma foi utilizado para redução da variabilidade de consumo de uma das principais matérias-primas utilizadas pela unidade de negócio em estudo. O direcionamento conceitual do seis sigma tem sido para implantação em processos onde os principais benefícios possam ser medidos sob a forma de retorno financeiro – quer seja aumento de faturamento, quer seja redução de custos. Neste trabalho pôde-se verificar a aplicação efetiva do seis sigma na redução de custos variáveis, principalmente aqueles

relacionados a consumo de materiais e energia. Não houve necessidade de adaptação da sistemática para este estudo de caso.

A aplicação conjunta da árvore de perdas, apontando as oportunidades para redução de custos e aumento de IEG, com o Seis Sigma, proporcionando a redução de variabilidade dos processos e sua conseqüente redução de custos, mostrou-se, no caso estudado, como um alto potencial de sinergia. Os números apontados pela empresa, as análises de hipóteses das proposições e as respostas dadas ao questionário aplicado às lideranças, mostram que através do uso conjunto das duas sistemáticas, têm-se conseguido atingir as metas estabelecidas para redução de perdas conforme planejamento realizado. Pode-se concluir com base nas evidências encontradas e nas análises realizadas que a aplicação conjunta das duas sistemáticas foi sinérgica e trouxe benefícios em termos competitivos para a empresa estudada, sem que houvesse necessidades de adaptação significativa.

## **5.2 Recomendações para futuros trabalhos**

Como recomendações para futuros trabalhos a serem aplicados ao modelo da árvore de perdas, poder-se-á sugerir a sua evolução:

- 1) Ampliar o modelo de avaliação incluindo processos transacionais a exemplo de custos relacionados à logística, vendas, estoques e outros. A dificuldade levantada pelos integrantes destes processos recai sobre a falta de referências ideais para comparação com os valores realizados. Além destes processos, a compra de matérias-primas e insumos, também poderia ser pesquisada, verificando-se neste caso a variação de preços como valor a ser analisado.
- 2) No modelo da árvore já testado, incluir as referências externas, *benchmarks*, para comparação com os melhores da indústria. Esta prática foi iniciada em meados de 2003, como um piloto, e apontou para um volume de aproximadamente 3 vezes o valor identificado inicialmente utilizando-se referências internas;

- 3) A utilização de valores teóricos como referência no modelo testado. O objetivo desta aplicação estaria relacionada à busca por novas tecnologias que poderiam projetar a empresa à frente dos seus competidores.
- 4) A aplicação desse último modelo proposto deveria ser um projeto a ser conduzido pela área de tecnologia da empresa. Neste caso, possíveis projetos de mudança tecnológica poderiam ter a sua implantação auxiliada por uma variável da metodologia Seis Sigma, denominada por *Design for Six Sigma* (DFSS) ou Projeto por Seis Sigma, que garante a implantação de novos projetos com o nível de falhas Seis Sigma.
- 5) É importante se avaliar com os grupos de tecnologia e engenharia de processo a influência dos elementos componentes dos custos variáveis com o IEG, para se evitar a tomada de ações que podem ser infrutíferas caso não se defina, inicialmente a elevação deste prioritariamente em relação ao CV.
- 6) Seria recomendado que ações fossem tomadas no sentido de tornar o processo de manutenção o mais produtivo possível, visando reduzir o período de *shutdown*, em que a planta industrial fica indisponível.

## REFERÊNCIAS

ABIQUIM. **Sobre projetos de investimento (2001-2006) no seguimento de produtos químicos de uso industrial**, da edição de out.2001 do departamento de Economia.

ABIQUIM, Relatório anual de desempenho da Indústria Química 2007. Disponível em:<http://www.abiquim.org.br/conteudo.asp?princ=ain&pag=balcom> 9/6/2007 9:05

ANDRADE, Maria Antonia; PATACO, Vera Lúcia. **Manual para elaboração de monografias, dissertações e teses**. Salvador: FIB, 2003

ARAGÃO, Irlam. **Conceitos, premissas, características e treinamento em sistemáticas de melhoria**. Documento produzido em Camaçari 2003 na empresa “Petroq1” (Desenvolvimento\_Sistemáticas.ppt)

ARAGÃO, Irlam e EDE, Rubem. **Definição de capacidade, índice de eficiência global e perdas de capacidade**. Documento produzido em Camaçari 2003 na empresa “Petroq1”

\_\_\_\_\_. **Qualidade no sistema de produção**. Apresentação eletrônica feita (GAP\_conceitos\_iniciais.ppt)

\_\_\_\_\_. **Projeto Petroq1.xls**. Planilha eletrônica contendo o modelo matemático da árvore de perdas da empresa

\_\_\_\_\_. **Arvore de Oportunidades Atualização 2002**. Apresentação eletrônica feita (Arvore\_Petroq1\_2002.ppt)

ARAGÃO, Irlam; VINICIO, Cledson. **Relatório de projeto de melhoria Seis sigma: Redução do custo de geração de vapor**. Salvador: Petroq1, 2003.

ASSAF NETO, Alexandre. **Finanças corporativas e valor**. São Paulo: Atlas 2003

BORNIA, Antonio Cezar. **Análise gerencial de custos em empresas modernas**. Porto Alegre: Bookman, 2002

BREYFOGLE III, Forrest W. – *Implementing Six Sigma*, 2nd ed. New Jersey: John Willey & sons, Inc. 2003

BREYFOGLE III, Forrest W. et al. – *Wisdom on the green – Smarter six sigma business solutions*, 1st ed. Texas: Quality Books, 2001

BRUE, Greg - *Six Sigma for leadership*, New Mexico: Six Sigma Consultants Inc. 1º edition, 2000

CAMPOS, Marco S. – **Desvendando o MINTAB**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003

CASTRO, Antonio Barros de...[et al.]. **O futuro da indústria no Brasil e no mundo : os desafios do século XXI**. Rio de Janeiro: Campus, 1999. 334 p.

CARRIJO, J. R. S. **Administração Avançada**. Apostilha ITE, 2001.

D'ÁVILA, Saul Gonçalves – **A indústria Petroquímica brasileira**, Faculdade de Engenharia Química da Unicamp, Campinas 2002 Disponível em:  
<<http://www.comciencia.br/reportagens/petroleo/pet21.shtml>> último acesso em: 14/01/04 às 9:17

EASTERBY-SMITH, M. et al.. **Management research: a introduction**. London: Sage, 1991

ECKES, George - **A revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros**, Rio de Janeiro: Campus, 1º edição, 2001

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S.M. **Apoio a decisão: sistemáticas para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001

FLYNN, V.J. – **Evolution of DuPont's Corporate Management Leadership Team** – paper apresentado no TPM World Congress, Tokyo – Japão 1991.

FURTADO, João – **Estudo da competitividade de cadeias integradas no Brasil: impactos das zonas de livre comércio**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Fevereiro 2003

GIL, A. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GUERRA, Oswaldo Ferreira – **Estudo de competitividade da Indústria Brasileira: competitividade da indústria petroquímica**. Fundação Economia de Campinas – FECAMP: Campinas, 1993

\_\_\_\_\_. **A Vitória da Odebrecht e da petroquímica brasileira**, parte do Clipping: Panorama geral da indústria petroquímica, FTE. Salvador, 2003

\_\_\_\_\_. **A nova Copene e a economia baiana**, parte do Clipping: Panorama geral da indústria petroquímica, FTE. Salvador, 2003

GOLDRATT, Eliyahu; FOX, Jeff. **The Goal**, Cróton-on-Hudson, NY: North River Press, 1984

GOLDRATT, Eliyahu; FOX, Jeff. **The Race**, Cróton-on-Hudson, NY: North River Press, 1986

HAMEL, Gary; PRAHALAD, C.K. – **Competindo pelo Futuro: estratégias inovadoras para obter o controle do seu setor e criar os mercados do amanhã**. Rio de Janeiro: Campus, 1995

HARRY, Mikel & SCHROEDER, Richard - **Six Sigma: The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations**, New York: Randon House 1st edition, 2000

<http://www.6-sigma.com/six-sigma-methodology/our-approach.html> - Six Sigma Academy, acesso em 13/05/2002 às 13:00

IEDI. A política de desenvolvimento industrial. 2002

IMAI, Masaaki – **Gemba Kaizen: Estratégias e técnicas do Kaizen no piso de fábrica**. São Paulo: IMAM, 1996.

IMAI, Yassuo – **TPM como estratégia empresarial**. São Paulo: IMC Internacional, 2000.

KÖCHE, J.C.. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e prática da pesquisa**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001.

KOTLER, Philip – Administração de Marketing, Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil Ltda, 2000.

LANDRY, M. *A note of the concept of 'problem'*. Organization studies, v.16, n.2, p.315-343

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Trad. Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LOPES, Paulo Afonso – **Probabilidades e Estatística**, Rio de Janeiro: Reichmann & Afonso editores: 1999

LUCENA, E. **A natureza da aprendizagem de gerentes-proprietários do setor de vestuário de Florianópolis**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

MGMC – **Manual de Gerenciamento da Manutenção e Confiabilidade**, Empresa Petroq1: Salvador, 2004

McGRATH, J. E.. *Dilemmatics – the study of research choices and dilemmas*. In: McGRATH, J. E.; MARTIN, J.; KULKLA, R.A.. *Judgement calls in research*. Bervely Hills: Sage, 1992

MONTEIRO FILHA, Dulce Corrêa. **A contribuição do BNDES na formação da estrutura setorial da indústria brasileira (1952-1989)**. Tese de doutorado. Rio de Janeiro: IEI/UFRJ, 1994.

MONTENEGRO, Ricardo Sá Peixoto; MONTEIRO FILHA, Dulce Corrêa; GOMES, Gabriel Lourenço – **Indústria Petroquímica Brasileira**: em busca de novas estratégias empresariais. Estudo realizado pelo Departamento de Análise do Complexo Químico do BNDES, 2002.

\_\_\_\_\_. **O setor petroquímico**. parte do Clipping: Panorama geral da indústria petroquímica, FTE. Salvador, 2003

MONTIBELLER NETO, Gilberto. **Mapas cognitivos difusos para o apoio a decisão: uma metodologia integrada para a construção de problemas e exploração do impacto de alternativas nos valores do tomador de decisão**. Tese de doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

NAKASATO, K. 15º Curso de Formação de Facilitadores em TPM. IM&C Internacional. São Paulo, 2001.

OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Trad. Cristina Schumacher. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. 2ª ed. – São Paulo : Atlas, 2004

PALMEIRA, Jorge Nassar. **A manutenção produtiva total**: o caso da Eletronorte. 2001. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Mestrado Executivo em Administração, FVG, Brasília.

PANDE, Peter S. et al - **Estratégia Seis Sigma**: como a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho, Rio de Janeiro: Qualitymark 1º edição, 2001

PEREZ-WILSON, Mario - **Seis Sigma**: Compreendendo o conceito, as implicações e os desafios, Rio de Janeiro: Qualitymark 1º edição, 1999

PERRONE, Otto Vicente. **A petroquímica brasileira e alguns dos seus mitos**. Revista Petro&química, no 234.

PESTANA DA COSTA, Aluizio. **Petroquímica brasileira**: a história do seu desenvolvimento. Revista brasileira de engenharia química, nov. 1995.

PETRI, Sérgio M.. **Modelo para apoiar a avaliação das abordagens de gestão de desempenho e sugerir aperfeiçoamentos: sob a ótica construtivista**. TESE (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

PORTER, Michael E. **Estratégia competitiva**: técnicas para análise de indústrias e da concorrência. 15. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1980.

ROBINSON, Charles J.; GINDER, Andrew P. **Implementing TPM: The North American Experience**, New York: Productivity Press, 1995

RODRIGUES, Carlos Alberto. – **Perspectivas de reestruturação da petroquímica brasileira**. parte do Clipping: Panorama geral da indústria petroquímica, FTE. Salvador, 2003

ROTONDARO, Roberto G. et al. – **Seis Sigma**: Estratégia gerencial para melhoria de processos, produtos e serviços, São Paulo: Atlas, 2002

ROY, B. **Decision science or decision-aid science?** European Journal of Operational Research. V66 p184-203, 1993.

\_\_\_\_\_. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Kluwer Academic Publisher, 1996.

\_\_\_\_\_. **On operational research and decision aid**. European Journal of Operational Research. V73 p.23-26, 1994.

SABBATINI, Rodrigo et al. – **A internacionalização de empresas no capitalismo contemporâneo**: breves notas sobre a inserção competitiva da indústria petroquímica brasileira. Campinas : Faculdade de Campinas, 2003

SAKAGUCHI, Mitsuo. **Concepts of TPM parts I, II and III and Challenge requirements**. Revista JIPM, Tokyo, v.25, p. 9-12, out.2001.

SANTOS, Ednalva Marinho dos, et al. **O texto científico**: diretrizes para elaboração e apresentação. 3. ed. Salvador: Unyahna / Quarteto, 2003

\_\_\_\_\_. **O trabalho de conclusão de curso**: planejamento, execução e redação da monografia. Salvador: Unyahna / Quarteto, 2003

SCHIMIT, Stephen R. et al. – **Basic Statistics**: tools for continuous improvement, 4th ed. Colorado: Air Academy Press, 1999

SHINGO, Shingeo. **O sistema Toyota de Produção**: sob o ponto de vista da engenharia de produção. Trad. Eduardo Schaan. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SPIEGEL, Murray R. **Estatística**. Rio de Janeiro. Ao livro Técnico, 1969.

SUZUKI, Tokutarō – *TPM in Process industries*. Portland, USA: Productivity Press, 1994.

TAKAHASHI, Yosikazu; OSADA, Takashi. **MPT – Manutenção Produtiva Total**. São Paulo: IMAM, 1993.

TAVARES, Maria da Conceição. **Ciclo e crise; o movimento da recente industrialização brasileira**. Campinas, SP: Unicamp, 1998.

TRIVINOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

\_\_\_\_\_. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**. São Paulo: Atlas, 1992

VIRGILLITO, Salvatore Benito – **Estatística Aplicada**, São Paulo: Alfa-Ômega LTDA, 2003

WAHBA, Claude. **Geração de Riqueza através da inteligência gerencial**. Rio de Janeiro : Qualitymark, 2002

WILLIAMS, Mary et al. – *Six Sigma pocket guide* – 10th ed, Massachusetts: Rath & Strong Management consultants, 2002

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Tradução Daniel Grassi. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.