



UNIVERSIDADE SALVADOR - UNIFACS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO – PPGA
MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO

IRLAM REIS DE ARAGÃO

ANÁLISE DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO E SEU
IMPACTO EM INDICADORES OPERACIONAIS DE UMA
EMPRESA PETROQUÍMICA

SALVADOR
2009

IRLAM REIS DE ARAGÃO

**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO E SEU
IMPACTO EM INDICADORES OPERACIONAIS DE UMA
EMPRESA PETROQUÍMICA**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação da Universidade Salvador – UNIFACS, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração Estratégica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos

Salvador
2009

FICHA CATALOGRÁFICA

(Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Salvador - UNIFACS)

Aragão, Irlam Reis de

Análise de um sistema de produção e seu impacto em indicadores operacionais de uma empresa petroquímica/Irlam Reis de Aragão – 2009.

92 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Salvador – UNIFACS.
Mestrado em Administração Estratégica.

Orientador: Prof. Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos

1.Sistema de produção. 2. Indicadores operacionais.
3. Empresa Petroquímica – Bahia. I. Passos, Francisco Uchoa, orient. II. Título.

CDD: 658.4012

IRLAM REIS DE ARAGÃO

ANÁLISE DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO E SEU IMPACTO
EM INDICADORES OPERACIONAIS DE UMA EMPRESA
PETROQUÍMICA

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Administração Estratégica da Universidade Salvador – UNIFACS, pela seguinte banca examinadora:

Francisco Uchoa Passos (Orientador) – _____
Prof. Dr. UNIFACS

Renelson Ribeiro Sampaio (Avaliador Externo) – _____
Prof. Dr. SENAI / CIMATEC

Augusto de Oliveira Monteiro (Avaliador) – _____
Prof. Dr. UNIFACS

13 de Abril de 2009

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, Francisco Passos Uchoa, 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 UNIFACS 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 pelas oportunidades de melhoria identificadas nesse trabalho e pelos aperfeiçoamentos propostos.

Às Sras. Lurdes Lima e Luciana pela paciência e profissionalismo na revisão e enquadramento final do trabalho segundo os padrões adotados pela Universidade e apoio administrativo..

Todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso deste projeto.

“A excelência não se constitui em um simples
ato... Ela é um hábito”

(Aristóteles 384 – 322 A.C.)

RESUMO

Este trabalho mostra em que medida um programa de melhorias da *Braskem* resultou na prática de processos produtivos típicos de petroquímicas de *classe mundial*. A verificação foi feita em uma planta industrial da empresa, na qual investigaram-se os impactos sobre a eficiência operacional promovidos pela implantação das ferramentas *Seis Sigma* e *TPM*, utilizadas no programa de melhorias chamado de *Braskem+*. Foram escolhidos três indicadores para a competitividade do negócio: as *perdas físicas de produtos*; a *eficiência energética da planta*; e a *taxa de utilização dos ativos*. Os referidos indicadores foram medidos, respectivamente, antes (período de 2002 a 2004) e após o programa (período de 2005 a 2007), sendo os dados tratados com o emprego do software Minitab. As diferenças entre os dois conjuntos foram testadas quanto à sua significância estatística, revelando que as *perdas físicas de eteno* e a *eficiência energética da planta* aproximaram-se bastante do desempenho “*classe mundial*”. Porém, a *taxa de utilização dos ativos*, embora tenha evoluído positivamente, ainda se acha a uma razoável distância do desempenho “*classe mundial*”. Também foi objeto deste estudo, a verificação da existência de correlação entre o esforço empreendido na implantação das ferramentas, medido através das horas de dedicação ao programa e da quantidade de projetos implantados e os resultados obtidos. Os resultados demonstraram ser possível verificar a existência de algum tipo de correlação entre o esforço e o resultado alcançado com a implantação das sistemáticas. No caso do *Seis Sigma*, foi possível verificar que a correlação forte para o acumulado de horas / projetos e os resultados alcançados em redução de perdas físicas e aumento da eficiência energética. Já no caso do *TPM*, para a variável da taxa de utilização alguma correlação existe, entretanto, não foi possível afirmar que é forte ao relacioná-la com quantidade de projetos e acumulado de horas. Este trabalho contribui para aferir os impactos de um vultoso programa corporativo e registra uma exitosa aplicação, em processos contínuos, de ferramentas de melhorias utilizadas tradicionalmente em empresas de produtos montados.

Palavras-chave: Sistema de produção. Indicadores operacionais. Empresa Petroquímica

ABSTRACT

This work shows in what way an improvement program implemented at Braskem resulted in world class petrochemical processes. The measurement was done in one industrial plant of this company focused on operational efficiency promoted by Six Sigma and TPM methodologies that integrates a program called Braskem+. Three variables were set (physical losses, energy efficiency and overall equipment efficiency) and measured before (2002-2004) and after (2005-2007) Braskem+ implementation. These data were manipulated by using Minitab version 15. The differences between these two sets of data were tested statistically, showing that physical losses and energy efficiency became very close to world class performance. Overall Equipment efficiency by its turn improved significantly but still keeping distance from the better performances in this industry.

Additionally it was tested if there was any relationship between efforts applied to implement the program and their results. The efforts variables have been set as hours dedicated and the amount of improvements projects implemented. The results showed that it's possible to verify a strong correlation between the results obtained thru Six Sigma into physical losses and energy efficiency variables and the efforts measured by hours and projects implemented. In case of TPM and overall equipment efficiency it is possible to verify some kind of relationship but it was not possible to confirm if it is strong correlation.

This work contributes to analyze the impacts of a important corporate program and records a successful implementation in continuous processes of methodologies normally implemented in discreet processes.

Keywords: Production System. Operational Indicators. Petrochemical Company

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Índice de Preços de Petroquímicos.....	25
Gráfico 2 – Análise de capacidade das perdas de eteno na estocagem antes do Braskem+ .	58
Gráfico 3 - Análise de capacidade das perdas de eteno na estocagem após o Braskem+	59
Gráfico 4 - Análise de média e dispersão da Perda Física antes e após Seis Sigma	60
Gráfico 5 – Análise de capacidade dos dados de eficiência energética entre 2002 e 2004 ...	61
Gráfico 6 - Análise de capacidade dos dados de eficiência energética entre 2005 e 2007	62
Gráfico 7 – Análise de média e dispersão da Eficiência Energética antes e após Seis Sigma .	64
Gráfico 8 – Análise de capacidade da taxa de utilização entre 2002 e 2004	65
Gráfico 6 – Análise de capacidade da taxa de utilização entre 2005 e 2007	65
Gráfico 10 - Análise de média e dispersão da taxa de utilização antes e após o TPM.....	66
Gráfico 11 e Gráfico 12 – Correlações: perdas físicas vs Projetos implantados e Perdas físicas vs horas dedicadas	70
Gráfico 13 e Gráfico 14 - Correlações: eficiência energética vs Projetos implantados e eficiência energética vs horas dedicadas	72
Gráfico 15 e Gráfico 16 - Correlações: taxa de utilização vs Projetos implantados e taxa de utilização vs horas dedicadas.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da Cadeia Petroquímica	24
Figura 2 – Modelo do STP	28
Figura 3 Variabilidade nos Processos Seis Sigma.....	32
Figura 4 – Exemplos de posicionamento da média e dispersão dos dados em relação a especificação.....	34
Figura 5 - Grau de esforço para reduzir a variabilidade do processo	35
Figura 6 Rendimento Global do equipamento.....	38
Figura 7: Modelo estrutural da empresa estudada	46
Figura 8 – Modelo esquemático do sistema de estocagem de eteno	47
Figura 9 – Modelo esquemático simplificado de uma caldeira.....	48
Figura 10 – Representação dos elementos do Braskem+	50
Figura 11: Modelo esquemático de relações causais.....	52
Figura 12 - Teste T para Perdas Físicas 01_02 a 06_05 e 11_05 a 09_07	60
Figura 13 – Teste T para Eficiência Energética 2002-2004 e 2005-2006	64
Figura 14 - Teste T para conjunto de dados Taxa 2002-2004 e Taxa 2005-2007.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo das principais idéias dos autores e seu apoio ao trabalho de pesquisa	42
Quadro 2 – Dados comparativos da Braskem com empresas de alta performance, 2002	51
Quadro 3 – Resumo da quantidade de dados extraída do SDCD para cada uma das variáveis	55
Quadro 4 – Dados comparativos da Braskem com empresas de alta performance, 2002	67
Quadro 5 - Dados comparativos da Braskem com empresas de alta performance, 2005-2007	68
Quadro 6 – Resumo do esforço empreendido no Braskem+ para melhoria	69
Quadro 7 – Tabulação de projetos, horas e os resultados obtidos em perdas físicas	69
Quadro 8 – Possíveis correlações entre quantidade de projetos e perdas físicas	70
Quadro 9 - – Possíveis correlações entre quantidade de horas e perdas físicas	70
Quadro 10 - Tabulação de projetos, horas e os resultados obtidos em eficiência energética...	71
Quadro 11 - Possíveis correlações entre quantidade de projetos e eficiência energética.....	71
Quadro 12 - Possíveis correlações entre quantidade de horas e eficiência energética	72
Quadro 13 – Tabulação de projetos, horas e os resultados obtidos em taxa de utilização	73
Quadro 14 - Possíveis correlações entre quantidade de projetos e taxa de utilização.....	73
Quadro 15 - Possíveis correlações entre quantidade de horas e taxa de utilização	73
Quadro 16 – Resumo das sistemáticas implantadas, esforço, resultado obtido , tipo de correlação e coeficiente e classificação da correlação.....	74
Quadro 17– Resumo das principais idéias dos autores, seu apoio ao trabalho de pesquisa e as conclusões encontradas no trabalho de pesquisa	82

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos	18
1.3	QUESTÕES ORIENTADORAS	18
1.4	JUSTIFICATIVA	18
1.5	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	MANUFATURA DE CLASSE MUNDIAL	21
2.2	A INDÚSTRIA PETROQUÍMICA	23
2.3	O TPS – TOYOTA PRODUCTION SYSTEM	27
2.4	GESTÃO DA QUALIDADE TOTAL NA EMPRESA INDUSTRIAL	29
2.4.1	Seis Sigma	31
2.4.2	TPM	36
2.4.3	Benchmarking	38
3	A EMPRESA	43
3.1	PRINCIPAIS VARIÁVEIS DE PERFORMANCE	46
3.1.1	Perdas Físicas	46
3.1.2	Eficiência Energética	47
3.1.3	Taxa de utilização	48
3.2	BRASKEM+	49
4	METODOLOGIA	52
4.1	INDICADORES DAS VARIÁVEIS DE RESULTADOS	53
4.1.1	Variável de Perdas Físicas	53
4.1.2	Variável de Eficiência Energética	53
4.1.3	Variável de Taxa de utilização dos ativos industriais	53
4.2	INDICADORES DAS VARIÁVEIS DE ESFORÇOS	53
4.3	CORRELAÇÃO ENTRE ESFORÇOS E RESULTADOS	54
4.4	INSTRUMENTO DE PESQUISA	54
4.5	COLETA DE DADOS	55

4.6	TRATAMENTO DE DADOS	55
4.7	RESULTADOS ESPERADOS	56
4.7	LIMITAÇÕES	57
5	TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS	58
5.1	MELHORIAS IMPLANTADAS	58
5.1.1	Perdas Físicas	58
5.1.2	Eficiência energética	61
5.1.3	Taxa de utilização do Ativo	64
5.2	COMPARAÇÃO COM AS EMPRESAS DE ALTA PERFORMANCE	67
5.3	CORRELAÇÃO ENTRE ESFORÇOS EMPREENDIDOS E MELHORIAS	69
5.3.1	Perdas físicas	69
5.3.2	Eficiência Energética	71
5.3.3	Taxa de Utilização do Ativo	73
5.3.4	Resumo das análises de correlação	75
6	CONCLUSÕES	77
6.1	RECOMENDAÇÕES	83
	REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

A Braskem, empresa petroquímica brasileira foi originada a partir de um processo de fusão de outras seis empresas situadas nos pólos petroquímicos de Camaçari e Triunfo e no pólo alcoolquímico de Alagoas em meados de 2002. A fusão foi caracterizada pela integração de ativos industriais de empresas da primeira e segunda geração da petroquímica, cujo objetivo foi o de constituir numa empresa verticalizada, de porte, para competir globalmente. Este movimento representou, para a indústria petroquímica nacional, a oportunidade de competir em nível mundial. Para tanto, a Braskem colocou-se diante do desafio de converter-se em empresa de “classe mundial”, tendo que desenvolver capacitações específicas para o aprimoramento em custos, qualidade, flexibilidade e inovação, de forma a obter vantagens em face de seus competidores.

As empresas que formaram a Braskem foram implantadas no Brasil entre as décadas de 1970 e 1980, seguindo o modelo de aprendizagem tecnológica brasileiro vigente naquele momento - o da “caixa preta”. Ao longo da década de 1990, a maioria das empresas brasileiras teve que se adaptar ao processo de abertura de mercado, para se tornarem mais competitivas no mercado global. Uma das características da reestruturação do modelo operacional daquelas empresas, incluindo-se as petroquímicas, era a aplicação das ferramentas da gestão da qualidade total.

Seguindo aquela tendência de reorganização do modelo produtivo, a Braskem iniciou o desenvolvimento de um sistema de produção que congrega as práticas de empresas de classe mundial, aplicadas às suas reais necessidades operacionais de aumento de produtividade, melhoria contínua dos processos e maximização da utilização dos seus ativos. O esforço tem como focos a redução dos custos, a redução da variabilidade dos processos e a sustentação dos resultados alcançados. Esse Sistema de Produção, que passou a ser conhecido como Braskem+, foi iniciado em 2004 e utiliza as ferramentas desenvolvidas pela gestão da qualidade total, dentre as quais destacam-se o Seis Sigma e o *Total Productive Maintenance* (TPM). O Seis Sigma é uma ferramenta que tem por objetivo reduzir a variabilidade dos processos e, com isso, reduzir perdas, reduzir falhas e melhorar a qualidade dos produtos, diminuindo os custos de produção (ECKES, 2001). Na Braskem, o Seis Sigma tem sido usado para reduzir perdas físicas de produtos e aumentar a eficiência energética de processos. Já o TPM deriva do *Total Quality Management* (TQM), sendo aplicado para aumentar a taxa de utilização dos ativos produtivos, uma vez que se propõe a reduzir o número de falhas / quebras de equipamentos (SUZUKI, 1994).

Essas sistemáticas foram estruturadas de forma a garantir o aprimoramento da gestão do processo produtivo da empresa, na intenção de contribuir para o estabelecimento de um ambiente operacional com as características de: (a) melhoria contínua dos processos; e (b) gestão eficaz de ativos e equipamentos.

A Braskem acredita que a implantação disciplinada do referido ambiente de produção, que se inspira no Sistema de Produção Toyota (SPT), possibilitará o alcance de duas grandes metas:

- a) minimizar, de modo geral, o impacto negativo decorrente do processo de aprendizagem tecnológica das empresas que a formaram, sobretudo no que diz respeito a práticas de gestão da produção; e
- b) atacar, especificamente, os principais focos de perda de competitividade da produção petroquímica: perdas físicas, baixa eficiência energética e baixa utilização dos ativos.

O presente trabalho tenciona investigar até que ponto a Braskem tem obtido êxito na consecução das mencionadas metas.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Para uma empresa formada a partir da fusão de outras seis, como é o caso da Braskem, muitos desafios de natureza estratégica se impõem, tais como:

- a) estruturação da nova forma de gestão, atualizando o seu modelo para fazer frente às práticas das empresas de classe mundial (*World Class*);
- b) captura de sinergias fiscais, estruturais e financeiras;
- c) criação de uma cultura organizacional própria;
- d) consolidação da imagem frente aos *stakeholders*: integrantes, parceiros, clientes, acionistas, governo e sociedade;
- e) atingimento de novos patamares de competitividade global;
- f) identificação e disseminação das melhores práticas de cada empresa que foi integrada;
- g) implantação/fortalecimento do sistema de produção, a fim de minimizar os impactos causados pelo modelo de aprendizagem tecnológica adotado no setor.

No entanto, este trabalho concentra-se apenas na aferição de algumas melhorias operacionais resultantes do esforço de conduzir a Braskem ao patamar de empresa *World Class*. Para uma empresa petroquímica, os desempenhos em perdas físicas, eficiência energética e taxa de

utilização dos ativos são primordiais para sua competição num cenário global (GUERRA, 1993) emergindo, daí, como problema de pesquisa, o questionamento a respeito dos resultados obtidos pela Braskem nestas áreas durante os últimos tempos. Assim, a investigação do desempenho operacional da empresa será feita segundo os três referidos aspectos: percentual de perdas físicas; eficiência energética; e taxa de utilização do ativo industrial. A fim de tentar estabelecer comparações com as “best practices” existentes naquela área de atividades, a *performance* da Braskem será também cotejada com a de empresas de referência mundial (*World Class*), sob a perspectiva das três variáveis de desempenho operacional utilizadas neste trabalho. Adicionalmente, considera-se importante investigar a existência de eventual correlação entre o esforço de implantação do sistema e os resultados (*performance*) obtidos. Aqui, o esforço necessário à implantação do sistema de produção será mensurado pela carga de trabalho humano despendido nos projetos de melhoria implantados.

Com isto, tem-se que o problema de pesquisa pode ser desmembrado em três perguntas:

- a) em que medida houve melhorias de *performance* operacional com a implantação do Sistema de Produção Braskem +?
- b) quanto à *performance* operacional, como se posiciona a empresa em comparação com empresas *World Class*? e
- c) há correlação entre as melhorias de *performance* operacional e o esforço despendido para obtê-las?

1.2 OBJETIVOS

Os principais objetivos deste trabalho estão definidos a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

Em decorrência do problema explicitado, o objetivo geral deste trabalho é o de aferir as melhorias de *performance* operacional ocorridas na empresa, resultantes da implantação do Sistema de Produção Braskem +, comparando-as com a *performance* de empresas *World Class* e associando-as aos esforços de implantação.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para a realização do referido objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) avaliar as melhorias de desempenho obtidas com a implantação do Sistema Braskem +, por meio de duas de suas componentes, TPM e Seis Sigma, a partir dos resultados alcançados, respectivamente, nos períodos 2002-2004 (antes) e 2005-2007 (depois), analisando os indicadores de perdas físicas, eficiência energética e taxa de utilização do ativo;
- b) comparar o desempenho operacional da Braskem, expresso nos mesmos indicadores, após a implantação do sistema de produção, por meio do *benchmarking* realizado entre a empresa e as principais referências mundiais de alta *performance* operacional;
- c) estabelecer relações de associação entre os níveis de esforços investidos na implantação do TPM e do Seis Sigma e os indicadores de desempenho aferidos.

1.3 QUESTÕES ORIENTADORAS

Os objetivos explicitados neste trabalho pretendem dar resposta às seguintes questões:

- a) comparando-se os resultados expressos, respectivamente, em perdas físicas, eficiência energética e taxa de utilização de ativos, nos períodos 2002-2004 (antes) e 2005-2007 (após), pôde-se verificar melhorias significativas para a empresa?
- b) utilizando o resultado do benchmarking realizado entre plantas de alta performance e a Braskem, pôde-se verificar, no período observado, uma redução de *gaps* (distanciamentos) antes e após a implantação do Braskem+, tomando-se como base as três variáveis de desempenho operacional adotadas neste trabalho?
- c) quais os níveis de esforços para implantar, respectivamente, melhorias nos programas TPM e Seis Sigma? Há correlações entre estes esforços e os indicadores de desempenho operacional aferidos?

1.4 JUSTIFICATIVA

O programa Braskem+ foi referido como um sistema de produção com um grande potencial para se tornar um marco na indústria petroquímica nacional, devido à sua concepção, que

contemplou elementos tangíveis (resultados empresariais), elementos culturais, elementos físicos e elementos voltados à geração de conhecimento. Sabe-se que um sistema de produção com a magnitude e escopo do Braskem+, via de regra, envolve um montante de recursos materiais e humanos grande e, conseqüentemente, mensurar seus resultados faz-se oportuno, mesmo que essa mensuração seja realizada apenas com respeito a aspectos operacionais do programa.

Segundo Ramos (2006) o Braskem + é um sistema de concepção inteligente e original. É um vetor de construção de uma cultura voltada para a excelência operacional comum, a ser compartilhado pelos líderes e integrantes em todas as Unidades de Negócio da empresa. A utilização de sistemáticas integradas como Seis Sigma e TPM, em uma empresa nacional, se constitui numa iniciativa pioneira, sobretudo na indústria petroquímica. Por isso, faz-se oportuno realizar uma avaliação focada nos benefícios decorrentes da implantação do sistema, comparando-os, também, com as principais referências mundiais.

Outro aspecto que confere relevância a este trabalho é o fato de que se trata de um estudo de um sistema de produção estruturado para uma empresa petroquímica, com ambição de competir num mercado global, utilizando os componentes principais de um sistema característico da indústria de produtos montados, representando, assim, a oportunidade de abrir um caminho para a análise e discussão de uma aplicação diferenciada do modelo originalmente desenvolvido pela Toyota.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

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

O capítulo 2 inicia contextualizando o ambiente competitivo atual e o conceito de empresas de classe mundial (*world class*). Segue-se com uma rápida descrição das características de negócio da indústria petroquímica. Comenta-se, então, o funcionamento do Sistema de Produção Toyota (TPS – *Toyota Production System*), uma aplicação prática inicial da gestão da qualidade ao processo de produção de produtos montados (processos discretos). Em seguida, aborda-se a gestão da qualidade nas empresas, sua evolução e como ela pode ser um vetor de melhoria de eficiência para as empresas. A seguir descrevem-se as sistemáticas do Sistema de Produção da Braskem (Braskem+), com foco nos componentes Seis Sigma e

TPM. No referido capítulo, aborda-se, ainda, a aplicação da sistemática de *Benchmarking* para buscar referências relativas às melhores marcas, práticas e resultados.

O capítulo 3 contextualiza a Braskem, descrevendo-se sua estrutura e características específicas; o processo de definição estratégica e seus desdobramentos – inclusive com a aplicação de ferramentas de qualidade e dos principais fatores críticos de sucesso. Em seguida, descreve-se o programa Braskem+ e dois dos seus principais objetivos: construção de uma cultura de excelência operacional e melhoria de aspectos tangíveis do processo produtivo, tais como aumento eficiência energética, redução de perdas físicas e melhoria na taxa de utilização dos ativos. Ao longo do capítulo define-se o processo de comparação – *benchmarking* - realizado entre a Braskem e outras empresas mundiais, o que ajudou a estruturação do sistema de produção daquela empresa. Também é feita uma comparação entre as bases de construção do Braskem+ e do TPS.

No capítulo 4, descreve-se a metodologia de pesquisa utilizada, detalhando-se as variáveis estudadas, o instrumento de pesquisa adotado, o tratamento de dados, os resultados esperados e as limitações deste trabalho.

O capítulo 5 é reservado ao tratamento dos dados coletados e à discussão dos resultados encontrados.

No capítulo 6 acham-se as principais conclusões do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ambiente de competição atual afeta as organizações de tal forma que elas necessitam desenvolver capacitações operacionais específicas de maneira a permanecerem competitivas. Uma das referências na indústria automobilística foi a Toyota que, através do TPS (*Toyota Production System*), conseguiu superar os principais competidores e se posicionar entre os líderes.

No caso da indústria petroquímica observam-se, além do ambiente, também os efeitos dos períodos de margens apertadas impostos por ciclos alternados de demanda. Uma análise dos principais aspectos operacionais que podem ser identificados como de forte influência na competitividade dessa indústria, aponta para a melhoria e controle das perdas físicas, da eficiência energética e da taxa de utilização do ativo. O desenvolvimento de capacitações nos referidos aspectos operacionais faz-se necessários para posicionar as empresas da indústria química em níveis favoráveis de competitividade. De acordo com a argumentação desenvolvida no presente estudo, estratégias de posicionamento competitivo por intermédio de capacitação operacional contemplam sistemáticas da qualidade, como Seis Sigma e TPM, e aplicam o *benchmarking* como fonte de referências para a busca de melhorias.

A revisão bibliográfica desenvolvida neste capítulo está focalizada nos mencionados aspectos.

2.1 MANUFATURA DE CLASSE MUNDIAL

O termo “Manufatura de Classe Mundial” (*World Class Manufacturing*) foi inicialmente utilizado por Hayes e Wheelwright (1985) para descrever aquelas organizações que atingiam um nível de competitividade global através das suas capacitações¹ operacionais, utilizando-as como vantagem estratégica. A partir daí, autores como Schonberger (1986) complementaram o conceito detalhando que o uso dessas capacidades deveria ser mais rápido e mais intenso que o dos competidores – o que significaria, de acordo com o autor, o equivalente a produzir melhorias contínuas e rápidas nos processos de manufatura. Para efeito deste trabalho, o referencial utilizado será o proposto pelos autores acima.

Desde que Skinner (1969, 1974) definiu a estratégia de manufatura como sendo uma das formas como uma firma pretende competir no mercado e identificou a função de produção

¹ Ketokivi e Schoroeder (2004) definiram capacitações operacionais como o conhecimento do “o que” e do “por que” fazer no processo de manufatura de forma a torná-lo eficiente e eficaz.

como uma das fontes internas de sustentação da sua competitividade, muitos autores procuraram aprofundar o tema voltado à manufatura de classe mundial. Hayes e Pisano (1994), por exemplo, descreveram a estratégia de produção como um processo de criação de capacitações operacionais para necessidades futuras da firma.

Vários autores passaram a propor métricas que pudessem “medir” o desempenho de classe mundial. O modelo proposto por Schonberger (1986), por exemplo, considera como sendo de classe mundial o processo de manufatura capaz de gerar um desempenho, pelo menos, 50% melhor do que o dos competidores.

Já a definição adotada para determinar uma manufatura de classe mundial por Ferdows e De Meyer (1990) e por Filippini (1995) é a que permite a uma firma se posicionar num grupo dentro do primeiro quartil da indústria.

Para Kanter (1996, p.17-18), o termo “Classe Mundial” representa um jogo de palavras cujo significado sugere a possibilidade de competição em territórios amplos, além das fronteiras geográficas onde uma organização se encontra localizada. A autora defende que as batalhas competitivas do futuro não ocorrerão entre nações, mas entre redes globais com seus participantes dispersos por inúmeros países e regiões. Dependendo do setor, a dispersão e o porte das empresas que compõem estas redes globais poderão variar sem que, necessariamente, precisem ser gigantescas para obter êxito. A rota do sucesso das empresas será baseada na habilidade de se transformarem em elos dessas cadeias globais e em garantirem que as atividades gerem produtos que atendam aos padrões mundiais de excelência. Para tanto, devem se tornar classe mundial.

Para Neto (2001, p. 17-19), nesse ambiente de competição global, a emergência de um novo padrão de produção de bens e serviços, fundamentado nos conceitos de flexibilidade, agilidade e produção enxuta (*lean production*), trouxe profundas modificações nas estruturas organizacionais das empresas, assim como nos padrões de relacionamento cliente-fornecedor. Além disso, destaca o autor que com a crescente globalização dos mercados, as empresas nacionais passaram a enfrentar uma realidade diferente, caracterizada pela competição com empresas de diferentes partes do mundo – Mercado Comum Europeu, Estados Unidos, Japão e, mais recentemente, Coréia, Taiwan, Cingapura e China. Também é importante destacar que, por causa deste movimento de globalização, as empresas brasileiras passam por um período de transição entre uma economia com grande interferência do mercado regional, para outra onde a dinâmica está centrada nos atributos de qualidade, produtividade e competitividade referenciadas por padrões internacionais. Logo, para sobreviverem neste

novo modelo de competição, será necessário, tanto para as empresas privadas nacionais quanto para as estatais, adaptarem-se de forma ativa a este processo de trocas internacionais cada vez mais global. A chave dessa transição, no caso das empresas brasileiras, estaria localizada em três pontos fundamentais:

- a) aumentar continuamente a eficiência dos processos numa busca permanente pela otimização de custos de produção e redução de perdas;
- b) utilizar plenamente da capacidade instalada dos ativos industriais; e
- c) mensurar os dois esforços acima comparando-os com os das empresas de referência mundial.

Além disso, o autor argumenta que a transição pela qual as empresas, especialmente as brasileiras, estão 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 estariam, 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) defende que, no curto prazo, o caminho adotado pelas empresas deve ser o da eliminação das ineficiências na produção, a redução dos custos de produção e a construção de relações mais estáveis com fornecedores e clientes. Dentro deste novo modelo de competição, torna-se necessário que as empresas transformem-se cada vez mais em *world class companies*, o que significa, na visão do autor, serem capazes de gerar e comprar produtos de todos e para todos os pontos do mundo. As nossas empresas estariam diante da necessidade de atuarem permanentemente com foco na eficiência, na redução de perdas, na utilização plena dos ativos e na comparação com as melhores empresas mundiais.

2.1 A INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Como nos outros ramos de negócio, o cenário da indústria petroquímica 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. Todos esses indícios incluem a indústria petroquímica no conjunto daquelas que precisam estar dentre as manufaturas de classe mundial, por uma questão de competição.

No Brasil, além das tendências citadas acima, somam-se tendências regionais, quais sejam: a aceleração da dinâmica estratégica das empresas; o foco prioritário no mercado regional e a presença crescente no mercado internacional.

De acordo com Guerra (1993), a indústria petroquímica mundial está localizada estrategicamente nas cadeias produtivas, pelo fato de gerar insumos básicos para, praticamente, toda a estrutura de produção. A cadeia petroquímica faz parte da chamada química orgânica, vinculada aos hidrocarbonetos, e está estruturada a partir do refino do petróleo, que gera, dentre outros produtos, a nafta e o gás natural. Estes primeiros produtos são, então, utilizados pelas centrais petroquímicas – as quais constituem a chamada “indústria de primeira geração” - onde são transformados em matérias primas básicas, tais como, eteno, propeno e para-xileno, que são, por sua vez, processadas nas empresas da chamada “indústria de segunda geração” da cadeia. As indústrias da segunda geração transformam aquelas matérias primas básicas em produtos intermediários, como polietileno, polipropileno, policloreto de vinila (PVC) e polietileno tereftalato (PET). Finalmente, as empresas da “indústria de terceira geração”, também conhecidas como transformadoras de plástico processam estes produtos intermediários, transformando-os nos produtos finais utilizados pelo mercado, tais como: sacos, sacolas, tubos e conexões, garrafas, embalagens, brinquedos e outros. A estrutura da cadeia produtiva petroquímica está representada na Figura 1.



Figura 1 – Representação da Cadeia Petroquímica

Fonte: o Autor

É esta diversidade de aplicações que faz com que autores como Guerra (1993) defendam a idéia de que a indústria petroquímica mundial está localizada de forma estratégica nas cadeias

produtivas, pelo fato de produzir insumos utilizados em grande parte da estrutura de produção, como é o caso das indústrias de embalagem, automobilística, brinquedos, construção, e mesmo especialidades em áreas como medicina e saúde.

A indústria petroquímica apresenta as seguintes características identificadoras: alta intensidade em capital e em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D); 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 à entrada de novos concorrentes mais comumente identificadas na indústria petroquímica está associada à grande escala de suas unidades produtivas. Em função disso, o tamanho do mercado é uma variável importante para a referida indústria, pois pode introduzir instabilidades em épocas de retração de demanda (GUERRA, 1993). 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 ao conseqüente estreitamento das margens.

Além disso, os aumentos de capacidade em unidades produtivas da indústria petroquímica são realizados em grandes incrementos, que ocorrem à frente da demanda, resultando em períodos previstos de ociosidade. Esta estratégia é, também, uma barreira, ou desestímulo, à entrada de novos concorrentes, e explica boa parte do comportamento cíclico do negócio petroquímico.

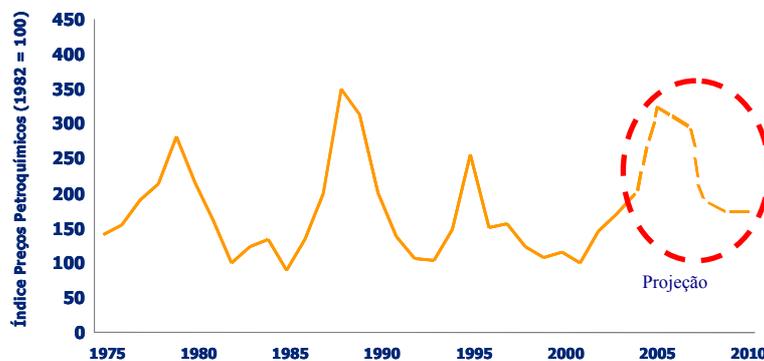


Gráfico 1 – Índice de Preços de Petroquímicos
Fonte: CMAI² 2005

O Gráfico 1 demonstra, através da evolução do índice de preços de petroquímicos, no mercado mundial, o comportamento cíclico dessa indústria, explicado acima.

Em face das características típicas da indústria petroquímica acima referidas, diversas estratégias de negócio são empregadas pelas empresas daquela indústria (GUERRA, 1993; CARRON, 1998; D'ÁVILA, 2002). Dentre as referidas estratégias, citam-se:

² CMAI: Chemical Market Analysis Institute, Organismo Internacional que analisa as tendências do mercado Químico e Petroquímico mundial

- a) redirecionar os investimentos para especialidades;
- b) transferir as áreas de produção de petroquímicos tradicionais para alguns países recém-industrializados, gerando associações com produtores locais;
- c) formar alianças estratégicas com o objetivo de aproveitar alianças em tecnologia e mercado;
- d) realizar fusões e incorporações, normalmente verticalizando o negócio, com o objetivo de tornar sua estrutura produtiva mais enxuta, ágil e flexível;
- e) diversificar a linha de produtos, principalmente da segunda geração, através de novos *grades* de resina e/ou *blends* voltados para aplicações definidas pelo mercado. Esta última como uma tentativa de sair da linha de *commodities* e agregar maior valor aos produtos.

Todavia, em maior ou menor grau, a implementação das estratégias acima referidas implica na necessidade do aprimoramento do desempenho operacional das plantas, com vistas à garantia de uma posição competitiva favorável. Segue-se daí que, a exemplo do que já aconteceu na indústria de produtos montados, as empresas da indústria petroquímica parecem estar também pressionadas a converterem-se em empresas de “classe mundial”. (DE SANTANA, 2005)

No caso das empresas da indústria de primeira geração, 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 daquelas empresas. Como consequência desta característica do processo produtivo, o aumento da eficiência energética e a redução das perdas físicas são fatores primordiais para o aumento da competitividade.

Mais ainda, a lógica de estruturação dos custos neste tipo de empresa – por se tratar de processos contínuos - leva as plantas industriais a tentar manter seus custos fixos, na medida do possível, independentes das oscilações da demanda, o que é um fator que facilita o crescimento nos períodos de margens elevadas e a sobrevivência nos períodos de baixa.

Desse modo, pelas razões comentadas nesta seção, dentre os fatores críticos de performance operacional nesse tipo de empresa destacam-se o aumento da eficiência energética da planta; a redução de perdas físicas de produtos e a utilização máxima da capacidade dos ativos (D'ÁVILA, 2002).

Esses fatores de desempenho operacional são comuns às empresas de classe mundial (DE SANTANA, 2005). Dessa maneira, é lícito supor que as empresas da indústria petroquímica estão, a exemplo do que sucedeu com as empresas de produtos montados, sendo pressionadas a aprimorar seu desempenho, na direção de converterem-se em empresas de “classe mundial”.

2.2 O TPS – TOYOTA PRODUCTION SYSTEM

De acordo com Shingo (1996), o TPS vem demonstrando, ao longo dos anos, se constituir numa estratégia potente de competição global na indústria automobilística. Conforme originalmente concebido, seu objetivo central consistia em desenvolver as capacidades competitivas necessárias ao sistema de produção da Toyota, para que a empresa pudesse responder com rapidez e flexibilidade às flutuações de demanda do mercado, destacando-se nos principais fatores de competitividade: custo, qualidade e inovação. Assim, segundo o autor, o TPS tem sido considerado como uma referência fundamental no campo da Engenharia de Produção, tendo servido como tema de estudos de casos para dissertações e teses.

De acordo com Spear (2004), as atenções se voltaram ao TPS quando, em meados da década de 1970, apesar do lento crescimento da economia, após a crise do petróleo, os resultados da *Toyota Motors* a posicionaram como a empresa mais lucrativa do Japão. O principal motivo teria sido a sua excepcional performance em qualidade de produtos, confiabilidade, produtividade, redução de custos e crescimento de vendas, adquirida de maneira consistente e continuada. Até 2003, a empresa estava assumindo a terceira posição de maior volume de produção de veículos na América do Norte e nos anos seguintes alternou entre a segunda e a primeira posições. Em 2007, a Toyota converteu-se na maior montadora do planeta. Estes resultados são atribuídos, por muitos pesquisadores, à implementação do conjunto sistemático de práticas que ficou conhecido como Sistema Toyota de Produção (TPS).

O TPS, para Abdolnour, Dudek e Smith (1995), foi construído a partir do uso simultâneo de uma teoria geral de produção e de uma aplicação empírica da teoria via uma lógica de “tentativa e erro”. A partir do desenvolvimento do TPS, surgiram teorias e princípios hoje hegemônicos no campo da engenharia de produção, tais como o Controle da Qualidade Total e a Teoria das Restrições.

Sob a perspectiva de aplicação prática, o principal objetivo do TPS recai sobre a eliminação de custos desnecessários ao sistema produtivo. Para isso, o TPS baseia-se na identificação e priorização das melhorias na função de produção, via a eliminação contínua e sistemática das perdas no sistema produtivo.

Para Shook (2006), os resultados obtidos pela implantação do TPS se devem à estruturação típica do mesmo. A Figura 2 mostra essa estrutura.

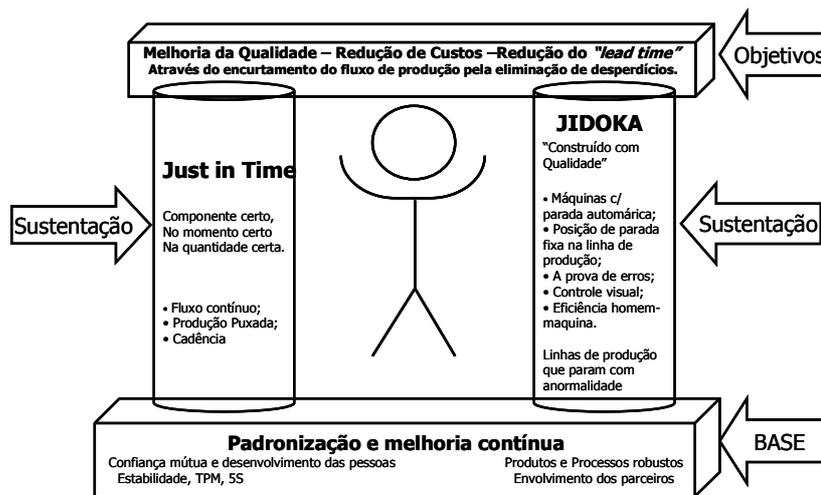


Figura 2 – Modelo do TPS
Fonte: Shook 2006, p. 5

A sustentação de todo o TPS foi baseada em dois pilares:

- o *Just-in-time* – cujas métricas eram: “fornecer no tempo, na quantidade e na especificação do cliente”
- o *Jidoka* – ou qualidade no processo de produção, onde a premissa baseia-se na autonomia dada aos operadores de parar a linha de produção no momento em que alguma perda de especificação de produto ou problema de processo fosse identificado.

No centro de todo o TPS estão as pessoas, que detêm, no sistema, o conhecimento dos processos e operações e que lideram as práticas de melhoria e inovação de processos e produtos.

Nesse sistema, parte-se da premissa de que são os clientes (mercado) que definem o preço de venda dos produtos. E, sendo assim, o lucro vem da subtração do preço pelo custo. Assim, a única forma de aumentar o lucro consiste em reduzir os custos. Conseqüentemente, a atividade de redução de custos deve ter a maior prioridade dentro da empresa. A adoção da eliminação sistemática de perdas permitiu à Toyota, com freqüência, reduzir os preços de venda de seus produtos.

De acordo com a visão que prevalecia na Toyota, qualquer empresa pode fazer um esforço para eliminar perdas, mas enquanto operar adicionando, arbitrariamente, o lucro ao custo do produto para definir o seu preço, seus esforços serão pouco frutíferos. Apenas quando mudar a forma de raciocínio, como fez a Toyota, é que haveria motivação real para eliminar totalmente o desperdício. E este tem sido o ponto de partida para tornar possível o desenvolvimento de produtos e processos na Toyota, quer seja pela inovação incremental quer seja pela inovação por ruptura.

Com base no TPS, Ohno (1997) recomenda a distinção entre o fluxo de produto e o fluxo de trabalho (operações) e a análise separada dos mesmos, a fim de promover melhorias significativas no processo de produção. Assim, 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. Neste último caso, a questão é *como* a fabricação de um certo produto pode ser melhorada.

Retomando a argumentação em favor da redução dos desperdícios na produção, Imai (1996) considera que o passo inicial para realizar uma melhoria de processos seria identificar de forma sistemática as fontes de perdas. A premissa do autor é que cada processo deve acrescentar valor ao produto antes de enviá-lo ao próximo processo. Perdas, neste caso, referem-se a quaisquer atividades que não adicionam valor ao produto.

Foi através da implantação do TPS e da aplicação prática do conjunto de princípios da Qualidade Total que a Toyota consolidou-se como empresa de classe mundial.

2.4 GESTÃO DA QUALIDADE TOTAL NA EMPRESA INDUSTRIAL

Para Schaffer e Thomson (1992), a chamada “gestão da qualidade total” traduz a filosofia do modelo Japonês inicialmente praticado na Toyota, onde todos na organização estariam alinhados com o propósito da empresa de atender a todas as expectativas de seus clientes. A denominação “total” é uma referência à natureza abrangente desta perspectiva. Conforme defende Drucker (1989), o propósito da organização é conquistar e manter seus clientes. O seu objetivo não seria apenas satisfazê-los, mas mantê-los leais. Para que isso aconteça, sugere o modelo Japonês, a organização deve se estruturar de forma a manter todos os seus

integrantes imbuídos do mesmo espírito de servir ao cliente da maneira mais efetiva (eficiente e eficaz) possível, transformando em resultados empresariais a fidelidade do cliente.

Para Reed, Lemak e Mero (2000), a diferença da melhoria contínua nos dias de hoje, em relação a abordagem feita no passado, está relacionada à forma como as 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, que detinham conhecimento das técnicas e tinham a função de resolver os problemas. E isso serviu para afastar algumas empresas das sistemáticas de qualidade.

Hoje, o papel dos profissionais de qualidade passou a ter um aspecto muito mais estratégico. No entanto, poucas empresas perceberam esta mudança e, como consequência, muitas delas ainda pensam em qualidade apenas quando seus produtos saem de especificação, ou para cuidar de aspectos normativos referentes a normas técnicas, como a ISO 9.001.

Wahba (2002) relembra que a pressão por competitividade sobre as empresas tem aumentado e que apenas aquelas 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 está facilmente disponível, como é o caso da internet, possibilitando aos consumidores realizar pesquisas relacionadas ao produto que desejam e, com isso, comparar preços, prazos, características, fornecedores disponíveis, e produtos/serviços substitutos. Tudo isso on-line. Além disso, é possível compartilhar informações com outros clientes, criando fóruns de discussão, grupos associados e outros meios de trocas de informações. Esse quadro dá uma idéia de como as firmas têm que desenvolver as suas capacidades de competição global de forma acelerada.

Como consequência da situação acima referida ganha destaque os aspectos de produtividade. O grande desafio dos especialistas da área é ajudar a empresa industrial a identificar as oportunidades de melhorar a produtividade dos processos internos – por exemplo, reduzindo os custos e eliminando os desperdícios. Bornia (2002) corrobora com esta idéia acrescentando que uma das principais diferenças entre a empresa atual e a antiga é a constante procura de melhoria em suas atividades. Ele lembra o fato de as empresas se concentrarem não apenas na busca constante de aprimoramentos e inovações tecnológicas, 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”.

A Gestão da Qualidade Total nas empresas teve o aporte e desenvolvimento de uma série de sistemáticas ao longo dos últimos anos. As três sistemáticas, Seis Sigma, TPM e *Benchmarking*, definidas e comentadas a seguir, são aquelas utilizadas pela empresa foco deste estudo de caso, como integrante do Braskem+.

2.4.1 Seis Sigma

Desde que foi desenvolvida pela Motorola nos anos 80, a idéia do processo “Seis Sigma” se difundiu como uma proposta de mudança do modo de pensar os processos produtivos. No entendimento de DeFeo (2000), o Seis Sigma é uma sistemática voltada para a análise de dados, que conduz à diminuição do nível de falhas e perdas em processos, sendo que seu diferencial está no esforço disciplinado em se detectar os erros antes que eles ocorram, examinando atividades repetitivas da organização, as quais podem ocorrer em qualquer etapa do processo produtivo, a saber: projeto de produto, produção, comunicações, relacionamento com fornecedores, serviços, inspeção ou transações diversas. O Seis Sigma possui tanto componentes técnicos como de gestão. Esses componentes, quando suportados por sistemas de informação que facilitam e agilizam a tomada de decisão, permitem uma avaliação mais precisa do desenvolvimento e crescimento do desempenho organizacional (AU; CHOI, 1999; Schiefer, 1999).

O foco da sistemática do Seis Sigma está, principalmente, na redução da variabilidade dos processos. A baixa variabilidade dos processos no Oriente seria a causa da preocupação que os ocidentais demonstraram, 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 concluir 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”.

A gestão de um processo Seis Sigma consta de cinco etapas bem definidas e estruturadas de forma que, se seguidas com a disciplina necessária, pretende levar os líderes de processo e suas equipes a identificar as principais fontes de variação e desperdício e, a partir daí, estabelecer ações para reduzi-las e controlá-las, garantindo a sustentação dos ganhos obtidos.

Todo este esforço de melhoria contínua é respaldado por um trabalho em equipes multifuncionais e pelo emprego de ferramentas estatísticas.

O Seis Sigma tem como premissa o fato de que as medições dos resultados de um processo, realizadas com uma certa precisão, são passíveis de variação, decorrentes do próprio processo.

Quando as medidas do resultado de um processo se apresentam segundo a distribuição normal de freqüências, a quantidade de desvios padrão, ou “sigmas”, que estão posicionados entre o Limite Inferior de Especificação do Processo (LIE) e a média das medidas ou entre a referida média e o Limite Superior de Especificação do Processo (LSE), define “quantos sigmas” tem o processo, ou seja, quantos desvios padrão estão contidos entre a média e os limites da faixa de tolerância do processo (BREYFOGLE III, 2003). Este raciocínio pode ser representado no esquema da Figura 3. Pelo referido esquema, percebe-se que quanto menor for a variabilidade do processo - expressa pelo tamanho do desvio padrão das medidas - mais “sigmas” poderão ser alocados entre a média e os limites superior e inferior da faixa de tolerância do processo.

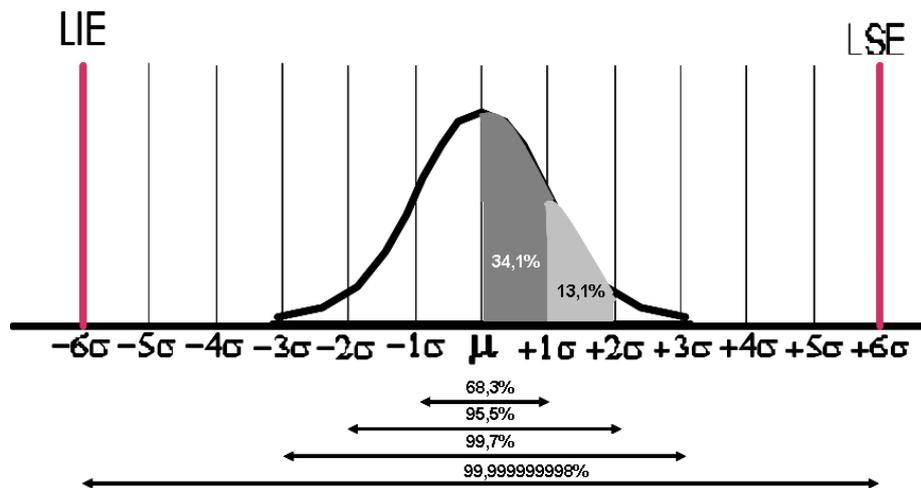


Figura 3 Variabilidade nos processos Seis Sigma.
Fonte Breyfogle III 2003, p.14

Uma outra forma de analisar esta informação é admitir que a área sob a curva compreendida entre determinado par de “sigmas” (desvios) corresponde à probabilidade de encontrarem-se as medidas dos resultados do processo entre a média menos o desvio considerado e a média mais o referido desvio. Assim, para um processo cujos resultados seguem a distribuição normal, 99,7% dos referidos resultados encontram-se entre a média menos 3 “sigmas” e a média mais 3 “sigmas”. Conclui-se que 0,3% dos resultados acham-se fora destes limites, ou seja, 0,15% são menores do que a média menos 3 “sigmas” e 0,15% são maiores do que a média mais 3 “sigmas”. No controle estatístico de processos convencional (CEP), costuma-se

aceitar processos cujos limites inferior e superior de especificação correspondam, respectivamente, à média menos 3 “sigmas” e à média mais 3 “sigmas”. Isto significa que 0,3% dos resultados do processo estariam fora dos limites especificados para o mesmo.

No entanto, quando se considera um processo Seis Sigma, no qual os limites inferior e superior de especificação correspondem, respectivamente, à média menos 6 “sigmas” e à média mais 6 “sigmas”, conclui-se que 99,999999998% dos seus resultados estão contidos dentro da tolerância especificada. Isto equivale a dizer que a taxa de resultados fora da especificação é de 0,00000002%, ou seja, da ordem de 0,002 ppm (ou 2 partes por bilhão). Desse modo, os processos sob controle Seis Sigma têm variabilidade tão pequena (desvios padrão tão pequenos) que praticamente não produzem resultados fora dos valores especificados.

Breyfogle III (2003) argumenta que partindo-se da premissa de que os limites de especificação de um processo estejam fixos e que a média esteja 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.

Um dos pontos importantes no Seis Sigma é calcular a capacidade do processo. O termo capacidade de processo serve para analisar o quão bom o processo poderia ser no curto prazo. O estudo de capacidade / performance é o procedimento utilizado para avaliar a condição de um processo em atender às especificações de determinada característica da qualidade de um produto com base no tempo. Isso envolve analisar:

- a) estabilidade: Relacionada às fontes de variação do processo - basicamente causas especiais. Alguns fatores que podem estar relacionados a falta de estabilidade podem ser: causas especiais (ex: partidas e paradas), eventos imprevistos ou mesmo variações que não estão "continuamente" ao processo conceitualmente concebido (ex: turnos de trabalho, por adotarem procedimentos diferentes, diferença na qualidade das matérias-primas, diferenças na temperatura ambiente durante o dia, etc). Se a estabilidade varia, a capacidade varia.
- b) variabilidade: A variabilidade pode ser medida de acordo com dois propósitos: o potencial que um processo tem de obter as menores variações possíveis e a performance que o processo tem em condições normais. O termo “C” considerara o processo sob condições específicas (as melhores possíveis) como, por exemplo, um

lote de matéria-prima, um período, um grupo de trabalhadores ou equipamentos, etc, de forma a se obterem os melhores resultados possíveis. Já o termo “P” é utilizado para se medir a performance do processo como ele é – com as variações de matéria-prima, equipamento, mão de obra, etc. A variabilidade está relacionada a dispersão do processo e, conseqüentemente, as causas normais de variação (ditas aleatórias). É analisada considerando-se o posicionamento em relação aos limites de especificação e o centro do campo de tolerância. Os termos: "Cp" e "Pp" indicam a relação entre a variabilidade do processo (sua dispersão) e os limites de tolerância. Já os termos "Cpk" e "Ppk" dão uma indicação do posicionamento desta variação em relação a faixa de tolerância.

A Figura 4 ilustra alguns exemplos de distribuição de dados analisados de acordo com o posicionamento da média e a dispersão dos dados em relação a especificação.

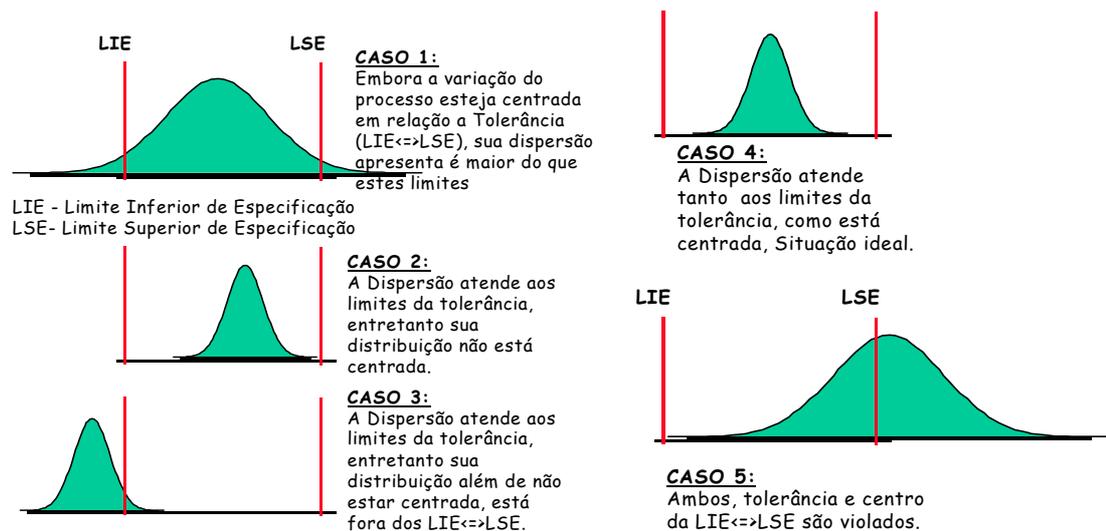


Figura 4 – Exemplos de posicionamento da média e dispersão dos dados em relação a especificação

Fonte: o autor

A Análise de Capabilidade será usada para avaliar, com base nos dados coletados, o potencial de atendimento das variáveis aos limites especificados, antes e após implantação das melhorias. Para Schmit (1999), a análise de Capabilidade analisa, com base na distribuição dos dados de um processo, indica a probabilidade que esse processo tem de atender às especificações estabelecidas. É aplicado em processos estatisticamente sob controle e referenciado a limites de especificação.

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 6σ . A Figura 5 ilustra os sucessivos incrementos de esforços necessários para evoluir de um nível sigma para outro.

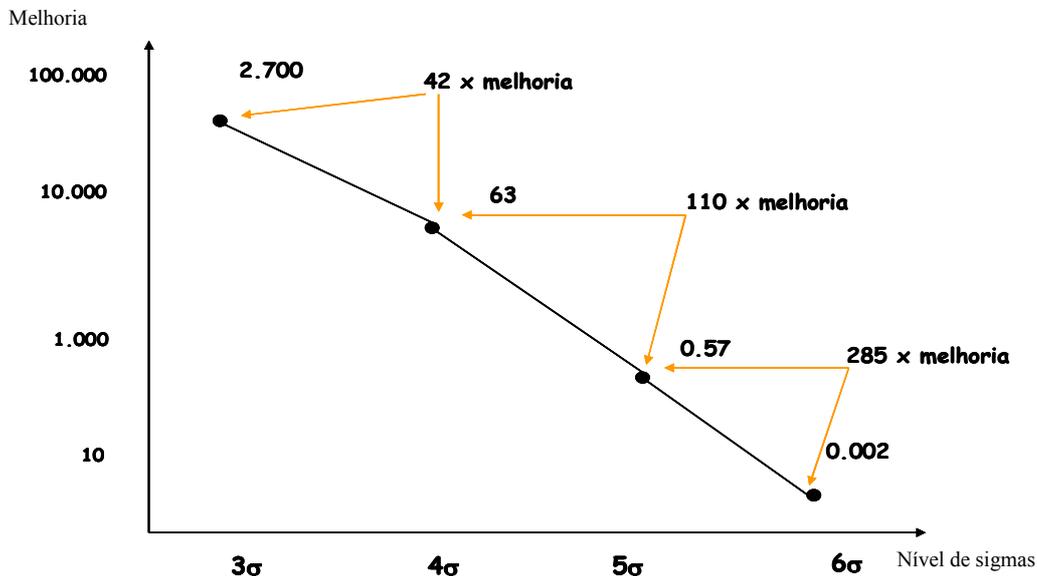


Figura 5 - Grau de esforço para reduzir a variabilidade do processo
Fonte: Breyfogle III, 2003, p.15

Um contraponto em relação ao Seis Sigma é feito por Antony (2002) ao ressaltar que muitos líderes de empresas, quando questionados, opinam que enxergam essa sistemática como “a mais nova iniciativa de melhoria” ou “como a nova moda”. Outros ainda mencionam que não existe nada de novo no seis sigma em relação a sistemáticas da qualidade do passado. O autor enfatiza algumas das principais limitações dessa sistemática:

- a) o desafio de obter dados confiáveis disponíveis;
- b) em muitos casos ocorre a frustração com soluções que são apenas parcialmente implantadas;
- c) a priorização de projetos em muitas organizações é subjetiva, o que põe em cheque a premissa de atuar em projetos de melhoria com importantes resultados estratégicos e financeiros;
- d) sem o devido cuidado, o seis sigma pode se tornar um processo burocrático, se o foco for em apenas gerar dados e não resultados econômico-financeiros.

Entretanto, eliminando-se essas barreiras, os resultados obtidos pela implantação do Seis Sigma podem exercer forte impacto na eliminação da variabilidade dos processos.

2.4.2 TPM

O *Total Productive Maintenance* (TPM) ou Manutenção Produtiva Total foi definido pelo *Japan Institute of Plant Engineers* (JIPE) como uma estratégia de manutenção baseada em trabalhos de equipe moldados para maximizar a efetividade do equipamento através do estabelecimento de um sistema bem definido, de forma a cobrir todo o ciclo de vida do equipamento (SHARMA et al., 2006). O TPM foi uma das sistemáticas originadas a partir dos movimentos do *Total Quality Management* (TQM), com o objetivo de proporcionar uma maior estabilidade às operações desempenhadas por empresas intensivas em manutenção de equipamentos. Um dos principais objetivos dessa sistemática é aumentar a taxa de utilização dos ativos através da redução do número de falhas dos equipamentos.

Segundo Imai (2000, p.2):

“TPM é um método de gestão que visa identificar e reduzir as perdas existentes no processo produtivo, aumentar a utilização do ativo industrial existente e garantir a geração de produtos de qualidade a custos competitivos. Também ajuda a melhoria contínua, garantindo o aumento da confiabilidade dos equipamentos e a capacidade dos processos sem a necessidade de investimentos adicionais.”

Para Nakajima (1968), o TPM tem 5 objetivos principais:

- a) maximizar a efetividade do equipamento;
- b) estabelecer um sistema de manutenção preventiva para todo o ciclo de vida do equipamento;
- c) implantar a filosofia em várias partes da empresa;
- d) envolver todos os integrantes da empresa; e
- e) estabelecer uma estratégia agressiva focada em melhorar a funcionalidade dos equipamentos críticos;

Ainda segundo o autor, o termo “Total” possui 3 significados básicos:

- a) efetividade total: em termos de custos, rentabilidade, produtividade, logística, segurança, meio ambiente, saúde e moral;
- b) manutenção total: com foco na manutenção preventiva e na confiabilidade dos equipamentos;
- c) participação total: todos os integrantes da empresa participam através da liderança dos grupos de Manutenção autônoma e manutenção planejada com a máxima motivação.

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 (SAKAGUCHI, 2001). Neste sentido, o TPM vem sendo uma sistemática indispensável para a criação de um sistema lucrativo de práticas corporativas e de negócio. De acordo com o referido autor, o TPM surgiu no Japão à época do movimento Japonês pela qualidade, com o objetivo de melhorar o resultado do negócio através da melhoria da relação entre homem-homem e homem-máquina, transformando o ambiente de trabalho num local mais seguro, prazeroso e organizado. O autor cita que embora originado em empresas Japonesas, como Toyota, Nissan e Mazda, várias outras empresas globais, como Dupont e Exxon adotaram o modelo de gestão do TPM como mecanismo para atingir ganhos de performance e produtividade nos seus negócios.

Já segundo autores como Takahashi e Osada (1993), Kotze (1993) e Frensdall et al (1997), 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, também, 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.

Takahashi e Osada (1993) propõem o modelo exposto na Figura 6 para verificação do rendimento global do equipamento. Nesse modelo, a taxa de utilização de um ativo pode ser calculada pelo produto entre o tempo operacional (em que o ativo não esteve parado), a velocidade operacional (carga ou taxa de produção) e a qualidade do produto gerado (produto conforme a especificação).

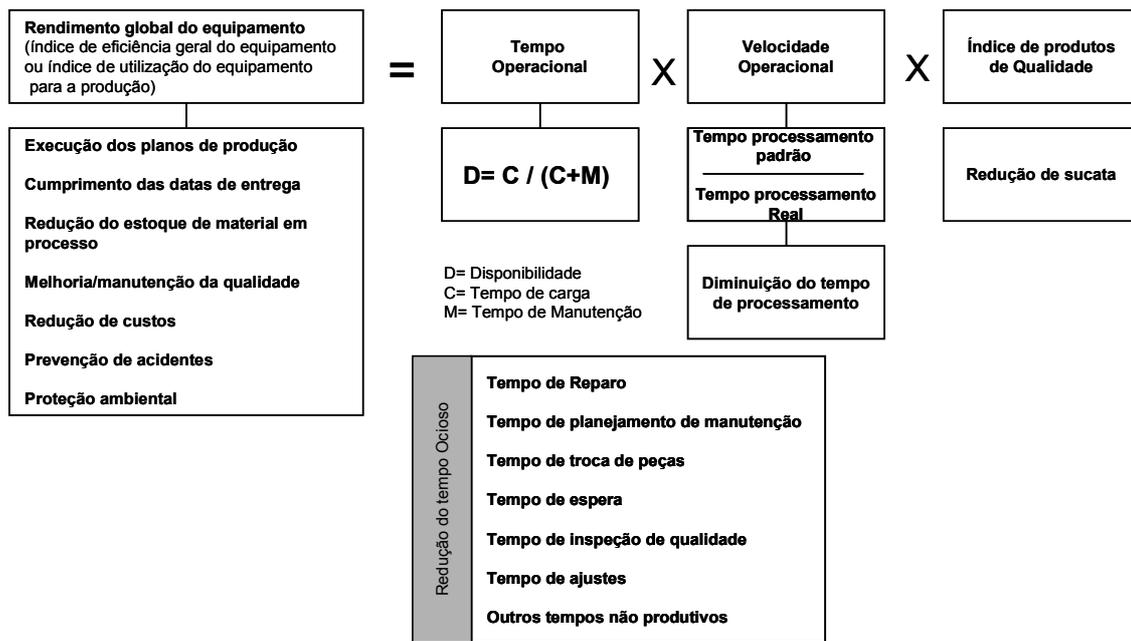


Figura 6 Rendimento Global do equipamento.
Fonte: Takahashi e Osada, 1993, p. 45

De modo geral, segundo essa perspectiva, as fábricas lucrativas não necessariamente possuem os equipamentos mais novos. Ao contrário, as mais antigas, se bem geridas, poderiam agregar maior valor aos acionistas, uma vez que não pagam encargos de juros e amortizações. Assim, muitas reduções de custos de processamento foram obtidas por inovações que procuravam explorar ao máximo as formas de utilização dos ativos existentes (TAKAHASHI e OSADA, 1993).

Já Suzuki (1994) propõe um modelo de aprimoramento que se baseia na identificação, análise e tratamento das perdas oriundas de disfunções em equipamentos da empresa. A lógica de funcionamento desse modelo está centrada no bom funcionamento dos equipamentos: equipamentos com baixa ou nenhuma frequência de quebras geram satisfação para os clientes (por cumprimento de prazos e qualidade acordados), para os acionistas (pelo aumento da produtividade e lucro) e para os empregados (pela preservação da integridade física e emocional).

2.4.3 Benchmarking

De acordo com Araújo (2001), o termo *Benchmarking* vem do inglês, que indica, o ponto de observação de onde as medidas podem ser feitas, ou ainda, servir de referência para outras.

Também tem como essência o termo japonês "*Dantotsu*", que significa literalmente "lutar para ser o melhor dentre os melhores".

Para Camp (1993), referências ao *Benchmarking* aparecem desde a Antiguidade. O general chinês Sun Tzu já enfatizava a necessidade de conhecer bem o inimigo para estar melhor preparados para as batalhas. O autor menciona que Frederick Taylor utilizou uma forma rudimentar de *Benchmarking* ao fazer a comparação entre as tarefas, base da elaboração de sua teoria.

Segundo Pagliano (2005), a metodologia foi formalmente empregada somente durante os anos 1970 nos Estados Unidos. Havia na época a necessidade do empresariado local de reagir ao avanço da indústria japonesa, internacionalmente e em seu próprio país. Em 1979, a *Xerox Corporation* consolidou padrões de comparação em relação aos seus concorrentes, tornando-se a empresa pioneira na implantação do *Benchmarking*.

O *Benchmarking* utiliza o resultado do trabalho acumulado por outras organizações, evitando erros de gerenciamento. É em si um processo gerencial permanente, decorrente do reconhecimento de que sempre existe no mercado empresa que faça algo melhor. O autor classifica a metodologia em três tipos:

- a) o *benchmarking* interno: ocorre dentro da própria organização, em unidades diferentes (outros departamentos, sedes, grupos, etc.). Devido à facilidade em se obter informações, firmar parcerias, custos mais baixos e a valorização pessoal interna, é o tipo mais utilizado pelas empresas. Suas desvantagens são a visão tendenciosa e o foco limitado, restringindo a possibilidade de informações de dados.
- b) o *benchmarking* competitivo: tem como alvo específico as práticas dos concorrentes. Há dificuldades em conseguir parcerias entre concorrentes, e muitas vezes faz-se necessário contratar consultoria externa para obtenção de informações. Voltado para as características básicas de produção, capazes de fornecer vantagem competitiva sobre os concorrentes diretos da empresa. O objetivo é alcançar e superar o desempenho dos concorrentes, procurando os problemas no modo como o trabalho é realizado, e não nas pessoas que o realizam. É, na prática, o menos usual uma vez que é quase impossível que as empresas se prestem a facilitar dados que estão ligados diretamente com sua atividade à concorrência.
- c) o *benchmarking* funcional: é baseado em uma função específica, que pode existir ou não na própria organização, serve para a troca de informações sobre uma atividade

bem definida como, por exemplo, distribuição, faturamento ou embalagem. Processo que atravessa várias funções da organização pode ser encontrado na maioria das empresas do mesmo porte como, como por exemplo, o processo desde a entrada de um pedido até a entrega do produto ao cliente. É neste tipo onde se encontra a maior parte de exemplos práticos e nas quais as empresas estão dispostas a trocar informação e a ser mais verdadeiras, devido à não existência de concorrência direta entre as empresas. Esse tipo de processo possibilita uma maior abrangência do processo de *benchmarking* devido à ampla possibilidade de informação e análise de dados. Uma desvantagem desse processo é a dificuldade de adaptação das informações observadas para a realidade da empresa, pois muitas vezes ocorre entre empresas com realidades bem diferenciadas.

As sistemáticas utilizadas na gestão da qualidade total tiveram por objetivo desenvolver as capacitações operacionais para melhorar as condições de as empresas competirem em ambientes cada vez mais globalizados e competitivos.

O Quadro 1 reúne as principais idéias dos autores revistos neste capítulo e as vincula com as argumentações que dão apoio a este trabalho.

Tema	Autores	Idéia dos autores	Aplicação neste Estudo
Manufatura de Classe Mundial	- Hayes e Wheelright (1985) - Hanson e Voss (1993) - Neto (2001)	As empresas de Classe mundial apresentam capacitações operacionais (custo, qualidade, flexibilidade e inovação) que as permitem atingir um nível de competitividade global	O programa Braskem+ como um meio de desenvolver na empresa do estudo as capacitações de custo e qualidade através de duas das sistemáticas de gestão da qualidade: o TPM e o Seis Sigma, respectivamente.
	- Ferdows e De Meyer (1990) - Filippini (1995)	O desempenho de uma empresa de classe mundial é aquele que a posiciona no primeiro quartil da indústria.	O desempenho operacional da Braskem será utilizado para comparar a empresa com as plantas de alta performance. O desempenho em termos de perdas físicas, taxa de utilização e eficiência operacional serão verificados antes e após a implantação do programa Braskem+.
Indústria Petroquímica	- Guerra (1993)	A principal barreira à entrada utilizada por essa indústria é a escala de produção. Grandes escalas de produção introduzem instabilidade nos	As variáveis perdas físicas, taxa de utilização e eficiência energética, são utilizadas para medir o desempenho operacional da empresa objeto deste estudo

		momentos de retração de demanda, resultando em margens apertadas. Os fatores de competitividade dessa indústria estão associados a redução de perdas físicas, uso do máximo da capacidade instalada (taxa de utilização) e eficiência energética.	
Sistema Toyota de Produção (STP)	- Shingo (1996) - Spear (2004)	O STP é estratégia potente de competitividade global dentro da indústria automobilística. Ele construiu as capacitações de flexibilidade, rapidez, qualidade e custos	A exemplo do STP, o Braskem+ visa construir as capacidades necessárias à Braskem atingir o nível de competitividade mundial dentro da indústria petroquímica.
	- Spear (2004)	O STP foi um dos principais fatores de desenvolvimento das capacitações competitivas para a empresa. Isso possibilitou a empresa se posicionar entre as principais da sua indústria – atingindo o nível de classe mundial.	
Sistemáticas de Qualidade	- Reed, Lamek e Mero (2000) - Bornia (2002)	A aplicação atual das práticas de qualidade está focada no aumento da rentabilidade e da lucratividade. Ela está voltada para a eliminação de perdas e para a melhoria dos processos existentes.	A mensuração das variáveis do Seis Sigma tem por objetivo a aferição da eliminação das perdas e da melhoria dos processos na empresa do estudo. A mensuração das variáveis do TPM tem por objetivo a verificação do grau de utilização de equipamentos produtivos da referida empresa.
Seis Sigma	- Au e Choi (1999) - Schiefer (1999) - De Feo (2000) - Pande et al (2001) - Rotondaro (2002)	Seis Sigma é uma prática voltada para a redução da variabilidade dos processos, que resulta na diminuição do nível de falhas e perdas, elevando o nível de qualidade.	O Seis Sigma é um dos elementos do programa Braskem. Os desempenhos em perdas físicas e eficiência energética deverão ser tratados como resultados da implantação do Seis Sigma na empresa do estudo.
	- Harry e Schröder (2000) - Eckes (2001)	Seis Sigma como uma sistemática de melhoria de desempenho de processos	

		voltada para redução de sua variabilidade, o que leva ao aumento da qualidade.	
	- Breyfogle III (2003)	O nível de esforço para se evoluir de um nível sigma para outro, aumenta expressivamente. Por isso, nem todos os processos alcançam o nível Seis sigma.	
TPM	- Nakajima (1968) - Suzuki (1994) - Imai (2000) - Sharma et al (2006)	O TPM (Total Productive Maintenance) é uma prática que visa identificar e corrigir perdas relacionadas à eficiência dos equipamentos produtivos.	O TPM é outro elemento do programa Braskem+. O desempenho em taxa de utilização do equipamento produtivo deverá ser tratado como resultado da implementação do TPM na empresa do estudo.
<i>Benchmarking</i>	- Araújo (2001) - Pagliano (2003)	O <i>Benchmarking</i> utiliza as informações acumuladas por outras organizações para buscar as principais referências na indústria.	Os dados do <i>benchmarking</i> realizado para verificar o desempenho da Braskem em perdas físicas, taxa de utilização e eficiência energética serão utilizados para verificar se houve ou não evolução das capacitações operacionais da empresa após a implantação do programa Braskem+ redução da distância em relação às melhores referências da indústria).

Quadro 1 – Resumo das principais idéias dos autores e seu apoio ao trabalho de pesquisa

Fonte: o autor

3 A EMPRESA

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. 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.

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.

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 e o fortalecimento dos mercados de capitais locais.

O processo de privatização do setor teve a sua quase completa consolidação no período compreendendo 1992-1996, 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. 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.

Em agosto de 2002, o consórcio Odebrecht-Mariani adquiriu o controle acionário da central de matérias primas e de mais cinco empresas da segunda geração. O principal benefício desta fusão é o fortalecimento da cadeia, movimento realizado na maioria das empresas petroquímicas em outros países, cerca de vinte anos atrás. Esse movimento deu origem a Braskem - empresa petroquímica brasileira, originada a partir de um processo de fusão de outras seis empresas situadas nos pólos petroquímicos de Camaçari e Triunfo e no pólo alcoolquímico de Alagoas em meados de 2002. Este movimento de fusão foi caracterizado pela integração de empresas da primeira e segunda geração, cujo objetivo foi o de se constituir numa empresa verticalizada de porte para competir no mercado mundial.

Este movimento representou, para indústria petroquímica nacional, um processo cujo objetivo foi o de aumentar as chances desta indústria de competir em nível mundial. Movimentos semelhantes iniciaram-se durante a década de 1980 no resto do mundo. Esta tem sido uma das principais estratégias da indústria petroquímica mundial em busca da competitividade: ganho de sinergias fiscais, administrativas, além dos ganhos de escala provenientes da integração vertical e modernização nos modelos de gestão e sistemas de produção.

Os primeiros resultados já puderam ser percebidos no período seguinte, ajudado, é claro, pelo ciclo de alta da petroquímica: 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.

No caso da Braskem, sua receita líquida avançou de US\$ 2,4 bi no momento da sua criação em 2002 para US\$ 5,4 bi em 2006. Em termos de exportações, o avanço foi de US\$ 0,4 bi para US\$ 1,4 bi no mesmo período. Com esse movimento, a empresa se consolidou, ao final de 2007 como a terceira maior produtora de petroquímicos das Américas e líder do mercado Brasileiro de resinas termoplásticas com 56% do mercado.

A Braskem é uma empresa petroquímica com matriz situada em São Paulo que nasceu com 14 plantas industriais nos estados do Rio Grande do Sul, Bahia, Alagoas e São Paulo. Com aproximadamente 3.500 funcionários diretos e 7.000 indiretos, foi dividida em 4 unidades de negócio e 6 centros corporativos. Os processos produtivos englobam a primeira e a segunda gerações do ciclo produtivo petroquímico.

A empresa apresenta as características típicas do processo de produção de uma empresa do seu setor:

- a) intensiva em capital, como forma de reduzir o efeito de novos entrantes;
- b) mão de obra especializada;
- c) matérias-primas e energia representando aproximadamente 90% dos custos totais de produção;
- d) dependente da confiabilidade de equipamentos;
- e) fortemente dependente de um fornecedor principal de matéria-prima – nafta;
- f) dependente da utilização total da capacidade como estratégia para diluição dos custos fixos e do desempenho de índices técnicos.

A Figura 7 ilustra a estrutura da Braskem.

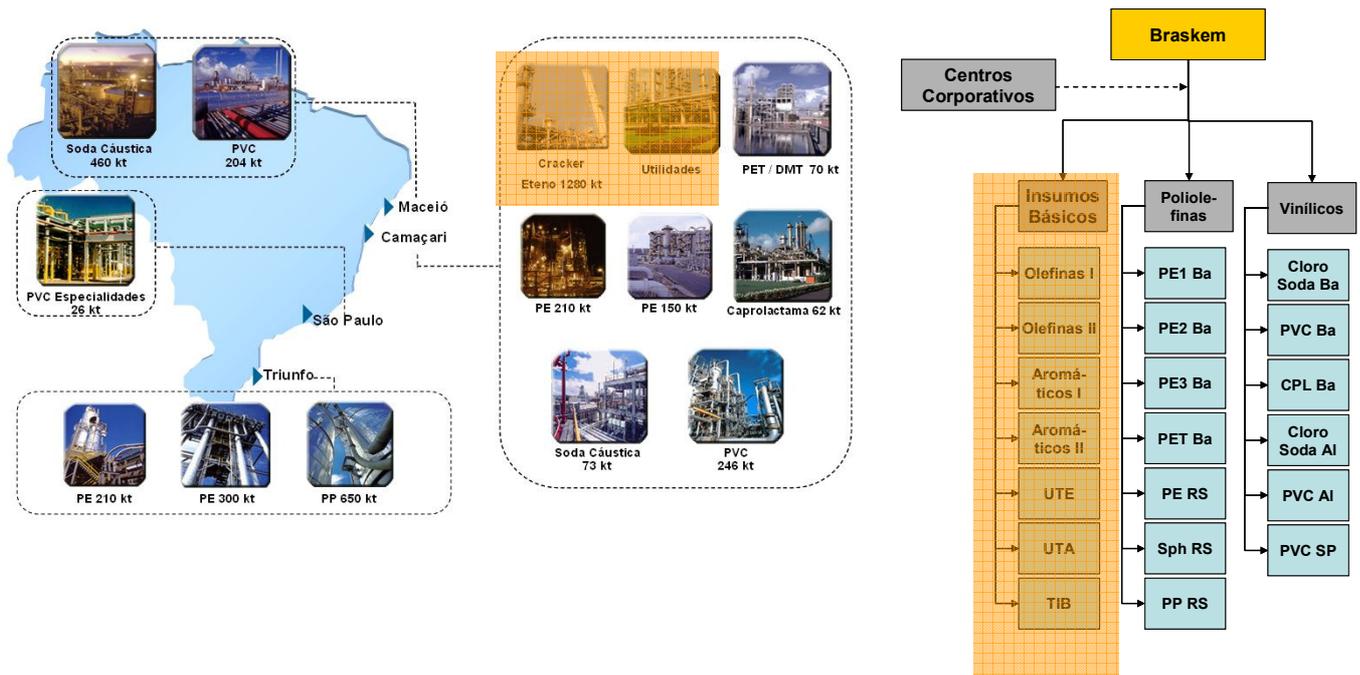


Figura 7: Modelo estrutural da empresa estudada
Fonte: o autor

A unidade da Braskem escolhida para o estudo é uma representante da primeira geração de petroquímicos, situada em Camaçari e está destacada na Figura 7.

3.1 PRINCIPAIS VARIÁVEIS DE PERFORMANCE

As principais variáveis que impactam a eficiência operacional da empresa são administradas conforme descrito:

3.1.1 Perdas Físicas

A nafta, principal matéria prima, é craqueada em fornos de alta temperatura gerando compostos orgânicos de peso molecular menor. O principal produto desse processo é o eteno. Devido a suas características físico-químicas, em condições normais de temperatura e pressão, ele apresenta-se na forma de gás e é enviado para a segunda geração – outras plantas da Braskem ou clientes do complexo petroquímico – por meio de tubulação ou estocado em tanques. Devido as características do eteno, a opção de acúmulo do produto em tanques deve ser um último recurso utilizado devido ao ônus energético empregado – para ser estocado em tanques, o produto deve ser resfriado e comprimido de forma a liquefazer-se e ser mantido

nesse estado até o momento do envio, quando, então, é aquecido e gaseificado para poder ser distribuído. Durante as três operações: liquefação, estocagem e gaseificação podem ocorrer perdas de produto. O modelo esquemático do sistema de estocagem de eteno está representado na Figura 8.

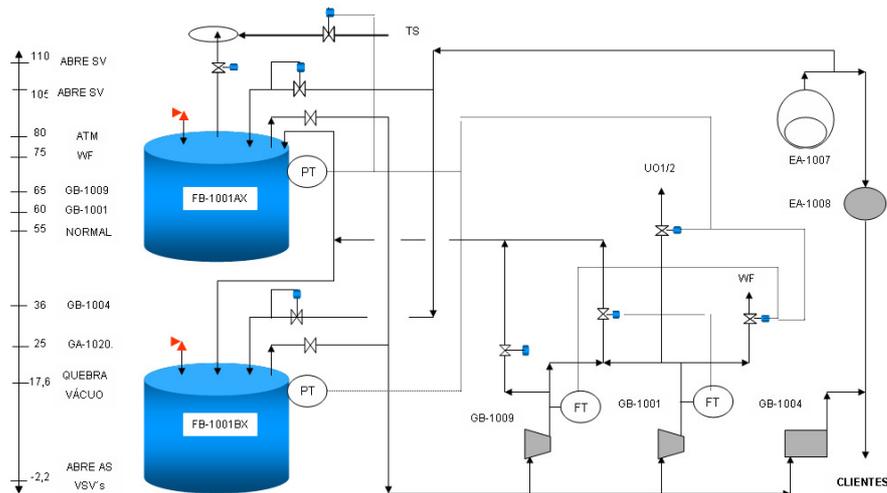


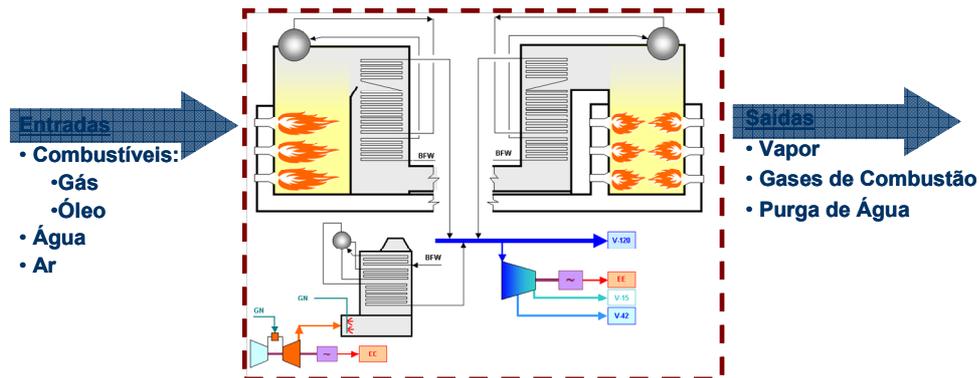
Figura 8 – Modelo esquemático do sistema de estocagem de eteno

Fonte: a empresa

Pelo fato de representar uma perda monetária valorizada pelo impacto na receita da empresa, é importante manter esses valores de perda próximos a zero. Além disso, a premissa do Sistema de Produção Braskem é eliminar / reduzir perdas. E essas perdas representam um ponto importante no resultado da Unidade de Negócios. Mesmo o zero seja um objetivo a ser continuamente perseguido, as melhores referências históricas apontam para um valor da ordem de 20 toneladas de perda de produto por mês ou 0,02% da produção mensal.

3.1.2 Eficiência Energética

A unidade de negócios da Braskem, que foi escolhida para estudo, possui um conjunto de seis caldeiras que operam com o objetivo de produzir vapor para consumo industrial e distribuição no complexo petroquímico como insumo produtivo. Esses equipamentos possuem um alto nível de complexidade de operação e aproximadamente 90% do custo de produção de vapor sofre impacto da matriz energética, ou seja, dos combustíveis que são queimados e da eficiência do processo. Em outras palavras, quanto mais vapor o sistema for capaz de gerar com a menor quantidade de combustível consumido, maior será a eficiência do sistema. A Figura 9 representa um modelo esquemático simplificado do funcionamento da caldeira.



Variáveis e Estratégias de Controle

- **Combustão**
 - Distribuição do ar p/ os queimadores;
 - Distribuição do combustível p/ os queimadores;
 - Nebulização dos combustíveis líquidos;
- **Purga**
 - Qualidade da água
- **Perda de Calor**
- **Controle do Processo**

Figura 9 – Modelo esquemático simplificado de uma caldeira

Fonte: O autor

Para calcular a eficiência do sistema, divide-se a quantidade de vapor gerada, num período de tempo pela quantidade equivalente de combustível consumida em tonelada no mesmo período. Os valores de referência do projeto desse equipamento apontam para uma eficiência entre 91% e 100% - sendo que o valor de 100% é apenas uma referência teórica. O valor a partir do qual o projeto desse equipamento considera uma referência de operação é da ordem de 93%.

3.1.3 Taxa de Utilização

É calculada com base na geração do produto principal da planta – o eteno. A taxa de utilização de um ativo petroquímico pode ser descrita como a relação existente entre a produção alcançada num determinado período de tempo e a máxima produção possível de ser alcançada no mesmo período. Essa taxa de utilização sofre influência de diversos fatores, que podem ser de origem externa – ligados ao mercado consumidor, ao suprimento de matérias-primas e energia ou a qualidade da matéria-prima disponível – ou a fatores internos – problemas no processo produtivo, quebra de equipamentos, paradas para manutenção, dentre outros. A taxa de utilização de uma planta petroquímica da primeira geração normalmente é projetada para atingir a marca de 95%. Mesmo assim, valores da ordem de 92% já são considerados como satisfatórios.

3.2 BRASKEM+

Em 2003, logo após a sua formação, a empresa buscou referências internacionais de plantas de alta *performance*, com o objetivo de identificar as principais lacunas (*gaps*) relacionados ao desempenho dos seus ativos. Assim, a aplicação de *Benchmarking* foi a base para identificar o que precisaria ser feito para desenvolver a sua capacidade competitiva operacional e, através da melhoria dos seus resultados em qualidade e custos, posicioná-la entre as principais empresas da indústria.

O meio idealizado pela empresa para desenvolver as suas capacidades competitivas e, ao mesmo tempo, criar a cultura de excelência operacional foi a implantação do Braskem+.

O Braskem+ foi desenvolvido como um sistema de produção baseado no sistema de produção da Toyota e têm por objetivos principais:

- a) elevar o patamar de utilização dos ativos;
- b) reduzir as perdas físicas;
- c) elevar a eficiência energética.
- d) melhorar a Organização física das unidades industriais;
- e) prover melhoria no gerenciamento dos principais requisitos do processo de produção;
- f) resgatar e sistematizar as informações da engenharia de processo.

Estes são resultados tangíveis e mensuráveis do sistema de produção. Outro objetivo está relacionado à formação de uma cultura organizacional voltada à excelência operacional, que focaliza a prevenção de perdas e a busca de melhores resultados operacionais e melhores práticas de trabalho.

Este modelo de produção emprega ferramentas e métodos utilizados nos programas de Qualidade Total das empresas de produtos montados, tais como: TPM e Seis Sigma.

Embora utilizando ferramentas típicas da indústria de montagem, o sistema de melhoria de produção da Braskem foi arquitetado de maneira a ajustar-se a um processo produtivo petroquímico. Os elementos básicos do Braskem + estão descritos a seguir.

- a) **Gestão do Ambiente Físico:** valoriza padrões de organização e limpeza do ambiente. Realiza monitorações pelo programa de organização e limpeza conhecido como 5S

- (Senso de Utilização, Senso de Ordenação, Senso de Limpeza, Senso de Asseio, Senso de Disciplina) e visa melhorar os aspectos de segurança e produtividade.
- b) **Gestão do Conhecimento da tecnologia do processo:** organiza todo o conhecimento da tecnologia do processo produtivo (variáveis e limites de controle, documentação, modelo de acompanhamento de processo e produção). Visa manter ativa a base de conhecimento da tecnologia do processo.
- c) **Gestão dos requisitos do processo:** acompanha o cumprimento do conjunto de requisitos legais, normativos e voluntários – assumidos pela empresa – que precisam ser atendidos pelo processo produtivo da empresa.
- d) **Gestão de ativos e dos equipamentos:** Baseada na implantação do TPM, visa garantir a redução ou eliminação das falhas de equipamento que venham a comprometer a taxa de utilização do ativo. A sua implantação teve por objetivo desenvolver a capacidade de otimizar custos.
- e) **Melhoria contínua:** Baseada no programa Seis Sigma, visa sistematizar a forma pela qual se identificam as oportunidades existentes e se implantam e replicam os projetos de melhoria, com foco principal na eliminação de perdas físicas e no aumento da eficiência dos processos produtivos. A sua implantação teve por objetivo desenvolver a capacidade em qualidade, expressa na redução de variabilidade dos processos.

Figura 10 demonstra a estruturação do Braskem+.

3

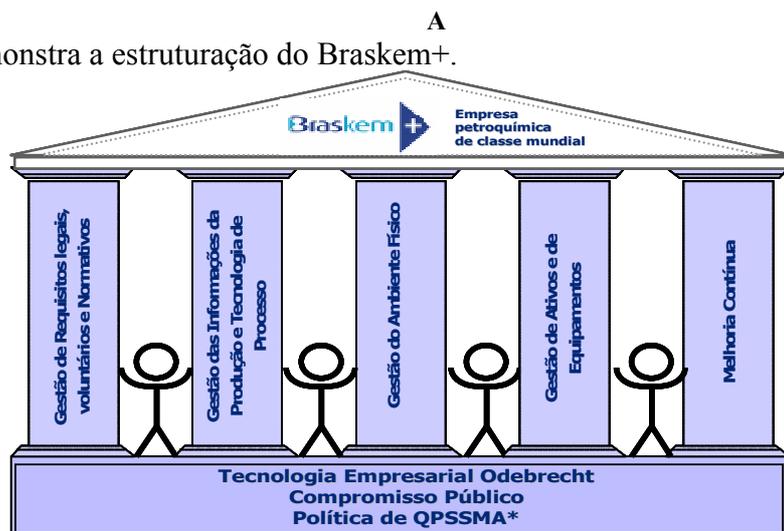


Figura 10 – Representação dos elementos do Braskem+

Fonte: o autor

³ * QPSSMA na figura 10 – Qualidade, Produtividade, Saúde, Segurança e Meio Ambiente

O presente estudo tem como foco apenas os dois últimos elementos do Braskem+ representados na

Figura 10, quais sejam, a “Gestão de Ativos e de Equipamentos” e a “Melhoria Contínua”.

A Gestão de Ativos e Equipamentos será explorada com a ferramenta TPM, e para a Melhoria Contínua este trabalho investigará a ferramenta Seis Sigma. As variáveis de esforço serão mensuradas através da quantidade de projetos de melhoria implantados e horas investidas para cada variável de resultado. Para cada uma das variáveis de performance operacional, foram implantados uma série de projetos de melhoria que tiveram como sistemáticas utilizadas o TPM e o Seis Sigma. O conjunto de projetos consumiu uma quantidade mensurável de horas das equipes e levou a certo nível de resultado. Vai-se procurar identificar se existe correlação entre o esforço empreendido (quantidade de horas e projetos) e a melhoria dos indicadores de performance operacional: perdas físicas, eficiência energética e taxa de utilização.

O início de implantação do Braskem+ partiu de um estudo comparativo, *benchmarking*, entre a Braskem e empresas petroquímicas de classe mundial, denominadas por aquele estudo de “empresas de alta *performance*”, realizado pela *Solomon Associates*. O referido estudo teve como objetivo verificar, numa mesma base de comparação, dados de *performance* industrial de 2002.

Todos os dados de desempenho industrial da Braskem do ano de 2002 foram enviados à *Solomon Associates* e comparados com os melhores resultados obtidos pelas empresas de alta *performance* no mesmo período. Vários resultados desse estudo foram analisados. Para fins do presente trabalho serão utilizados apenas aqueles referentes aos dois elementos do Braskem + investigados.

O resumo dos dados referentes às três variáveis escolhidas encontra-se no Quadro 2.

Variável	Desempenho Braskem	Desempenho “World Class”	GAP
Perdas Físicas	0,10%	0,004%	0,096%
Eficiência Energética	89,5%	96%	6,5%
Taxa de Utilização do Ativo	76,7%	97,2%	20,5%

Quadro 2 – Dados comparativos da Braskem com empresas de alta performance, 2002

Fonte: Relatório *Solomon Associates* Anexo I)

A partir desta avaliação, a Braskem pôde notar o distanciamento dos indicadores de *performance* industrial e definir ações de curto, médio e longo prazos a serem implantadas por intermédio do Braskem+.

A avaliação das ações da empresa no âmbito aqui delimitado constitui o foco do presente estudo.

4 METODOLOGIA

Para este trabalho foi realizada uma pesquisa empírica que, pela natureza do objeto, pode ser classificada como um estudo de caso (Yin, 2001). O recorte desta pesquisa focalizará uma das unidades de negócios da Braskem, localizada no pólo petroquímico de Camaçari, Bahia. Apenas dois dos cinco elementos do Sistema de produção Braskem + serão alvo deste estudo: "Melhoria Contínua" e "Gestão de Ativos e Equipamentos". O primeiro dos mencionados elementos foi investigado a partir da ferramenta Seis Sigma, e o segundo, pela ferramenta TPM. A parte empírica do estudo contemplou basicamente uma avaliação do desempenho da referida Unidade, levando-se em consideração três variáveis que refletem os resultados obtidos: (a) o nível de perdas físicas; (b) a eficiência energética; e (c) a taxa de utilização do ativo. As duas primeiras variáveis serão avaliadas no âmbito da ferramenta Seis Sigma, e a última, no âmbito da ferramenta TPM.

Também foi realizada uma avaliação dos *gaps* identificados num *benchmarking* competitivo com empresas de alta performance de nível mundial, realizado em 2003, tomando-se por base o desempenho operacional do ano 2002, para as três variáveis acima mencionadas.

Assim, duas variáveis foram escolhidas para medir os *esforços* de implantação do programa Braskem +: a ferramenta Seis Sigma e a ferramenta TPM.

O estudo analisa, também, a correlação entre os esforços empreendidos e os resultados obtidos pela implantação desta parte do programa Braskem +. O esquema da Figura 11 ilustra o modelo de relação causal entre as variáveis de esforços e as variáveis de resultados da parte do programa Braskem + aqui estudada.

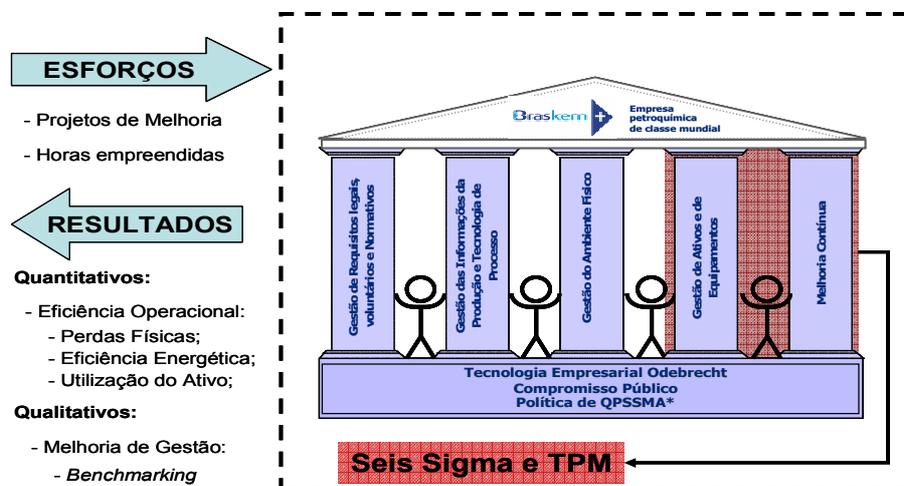


Figura 11: Modelo esquemático de relações causais

Fonte: o autor

4.1 INDICADORES DAS VARIÁVEIS DE RESULTADOS

Os indicadores de variáveis de resultados serão definidos de acordo com três dimensões:

4.1.1 Variável de Perdas Físicas

Foram mensuradas as perdas, em toneladas/mês, do produto principal da unidade de negócios estudada, no caso, eteno estocado.

4.1.2 Variável de Eficiência Energética

Foi medida pelo coeficiente técnico de consumo energético na geração de vapor, representado pela percentagem entre toneladas de vapor gerado e toneladas de combustíveis utilizados. Este indicador é calculado em frequência diária e é medido com base em valores de referência do projeto do equipamento.

4.1.3 Variável de Taxa de utilização dos ativos industriais

Foi mensurada pela relação percentual entre toneladas de eteno gerado no mês e a capacidade máxima disponível do equipamento, em toneladas.

4.2 INDICADORES DAS VARIÁVEIS DE ESFORÇOS

As variáveis de esforços de implantação das ferramentas Seis Sigma TPM foram mensuradas pelos totais de horas de trabalho dedicadas às mesmas e pelas quantidades de projetos implantados para cada uma das variáveis de resultados acompanhadas. É importante notar que os dados coletados foram organizados de forma a expressar o momento em que os projetos (e seu respectivo esforço em horas de dedicação) foram implantados e o respectivo valor da variável de resultado naquele período.

Sendo assim, a variável de perdas físicas teve 32 projetos e 17.410 horas de dedicação distribuídos ao longo de 11 meses (de março de 2005 a janeiro de 2006). A correlação se deu utilizando os meses em que os projetos e as horas foram implantados e o respectivo valor de perda naquele mês.

De modo semelhante, para a variável de eficiência energética, os 43 projetos de melhoria e as 4.608 horas de dedicação ocorreram ao longo de 11 meses (de setembro de 2004 a Julho de 2005). A correlação se deu utilizando os meses em que os projetos e as horas foram utilizadas e o respectivo valor de média mensal do valor da eficiência energética daquele mês.

Similarmente, a variável da taxa de utilização, foi correlacionada no período de fevereiro a dezembro de 2003 com os 40 projetos e as 27.530 horas.

4.3 CORRELAÇÃO ENTRE ESFORÇOS E RESULTADOS

As variáveis de resultados foram correlacionadas com as variáveis de esforço. Os resultados expressos como perda física, eficiência energética e taxa de utilização, foram correlacionados com os seus respectivos esforços, medidos em quantidade de projetos e quantidade de horas gerando, assim, duas análises de correlação por cada variável de esforço. As tendências de correlação testadas foram: Linear, Potencia, Exponencial, Logarítmica e Polinomial de 2º, 3º, 4º e 5º graus. Os coeficientes de correlação (r^2) mais próximos a 1 foram considerados para evidenciar a existência de correlações.

4.4 INSTRUMENTO DE PESQUISA

Dados primários foram obtidos diretamente na base de dados de controle operacional. Para tanto, o acervo de registros operacionais da empresa, especialmente os relatórios de produção contidos no Sistema Digital de Controle a Distância (SDCD), foi a principal fonte de dados. Também artigos de revistas especializadas e *press releases* foram utilizados como fonte para a coleta de informações. Além disso, alguns documentos emitidos pela empresa, os quais contêm conceitos e definições empregados para o entendimento da aplicação do Braskem+, foram utilizados. Foi igualmente necessário analisar os relatórios de estudo de *benchmarking* desenvolvidos pela *Solomon Associates*, para analisar a lacuna existente entre o desempenho operacional da Braskem e o das empresas de “classe mundial”, medidos com base nas três variáveis de resultados.

4.5 COLETA DE DADOS

As três variáveis de resultados (perdas físicas, eficiência energética e taxa de utilização) foram coletadas, como já foi dito, diretamente na base de dados do SDCD onde são armazenadas as variáveis do processo produtivo. Elas foram exportadas automaticamente para um software de tratamento estatístico, o Minitab. O Quadro 3 resume a quantidade de dados exportada para cada uma das variáveis estudadas.

Variáveis	Frequência	2002-2004	2005-2007
		N	N
Perdas Físicas	Mensal	42	23
Eficiência Energética	Diária	1095	992
Taxa de utilização	Mensal	36	34

Quadro 3 – Resumo da quantidade de dados extraída do SDCD para cada uma das variáveis
Fonte: o autor

4.6 TRATAMENTO DE DADOS

Os dados foram tratados da seguinte forma:

a) Variável Perdas Físicas

O conjunto de dados 2002-2004 foi avaliado em relação a sua capacidade, considerando o Limite Superior de Especificação de 25 toneladas/mês. A partir daí foram calculados o Cpk e o Ppk. Da mesma forma, os dados de 2005-2007 seguiram a mesma sistemática. Por fim, os dois conjuntos de dados foram analisados de acordo com o teste T de Student para avaliar se eram estatisticamente diferentes. Para apoiar a análise, o Box-plot foi utilizado para verificar graficamente as dispersões e médias dos dois conjuntos.

b) Variável Eficiência Energética

O conjunto de dados 2002-2004 foi avaliado em relação a sua capacidade, considerando o Limite Inferior de Especificação de 91%. A partir daí foram calculados o Cpk e o Ppk. Da mesma forma, os dados de 2005-2007 seguiram a mesma sistemática. Por fim, os dois conjuntos de dados foram analisados de acordo com o teste T de Student para avaliar se eram estatisticamente diferentes. Para apoiar a análise, o Box-plot foi utilizado para verificar graficamente as dispersões e médias dos dois conjuntos.

c) Variável Taxa de Utilização de Ativos

O conjunto de dados 2002-2004 foi avaliado em relação a sua capacidade, considerando a o Limite Inferior de Especificação de 92% / mês. A partir daí foram calculados o Cpk e o Ppk. Da mesma forma, os dados de 2005-2007 seguiram a mesma sistemática. Por fim, os dois conjuntos de dados foram analisados de acordo com o teste T de Student para avaliar se eram estatisticamente diferentes. Para apoiar a análise, o Box-plot foi utilizado para verificar graficamente as dispersões e médias dos dois conjuntos.

d) Quantidade de Projetos

A quantidade de projetos implantada tanto para o Seis Sigma como para o TPM foi contabilizada, totalizada e foi considerada de acordo com o mês em que começaram a produzir as melhorias. O total de projetos foi correlacionado com os resultados mensais das respectivas variáveis de eficiência operacional (perdas físicas, eficiência energética e taxa de utilização).

e) Quantidade de Horas

A quantidade de horas empreendidas nos projetos de melhoria, tanto no Seis Sigma como no TPM, foi contabilizada, totalizada e considerada de acordo com o mês em que as mesmas começaram a produzir as melhorias. O total de horas foi correlacionado com os resultados mensais das respectivas variáveis de eficiência operacional (perdas físicas, eficiência energética e taxa de utilização).

4.7 RESULTADOS ESPERADOS

São esperados os seguintes resultados:

- a) como tradicionalmente as sistemáticas da qualidade têm o objetivo de melhorar a eficiência operacional dos processos, espera-se que, após sua aplicação (período 2005-2007), os resultados da empresa estejam significativamente melhores do que antes do início da sua aplicação (período 2002-2004).
- b) também é esperado encontrar, em comparação com as empresas de classe mundial, uma redução das lacunas encontradas para os referidos resultados de perdas físicas, eficiência energética e taxa de utilização após a implantação das sistemáticas do Braskem+.

- c) adicionalmente, é esperado encontrar relações de associação entre os níveis de esforços investidos na implantação do TPM e Seis Sigma e os indicadores aferidos.

4.8 LIMITAÇÕES

A principal limitação desta pesquisa decorre do fato de não haver uma forma eficaz de isolar a influência de fatores exógenos dos resultados de desempenho. Ou seja, é possível que fatores intervenientes não identificados possam ter uma influência em incrementos ou reduções nas variáveis estudadas, maximizando ou minimizando a relação resultado-esforço analisada.

Uma outra limitação é utilizar uma única empresa, um único setor, num período de tempo restrito a cinco anos, o que pode não ser conclusivo para extrapolações das conclusões. Além disso, os fatores relacionados à formação e influência da cultura organizacional não foram objeto desta pesquisa.

5 TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Todos os dados coletados foram tratados e avaliados conforme descrito

5.1 MELHORIAS IMPLANTADAS

A seguir estão descritos e analisados os dados obtidos antes e após a implantação do Braskem+ para as três variáveis estabelecidas.

5.1.1 Perdas Físicas

O levantamento dos dados de perdas de eteno realizado no período entre 2002 e 2004, revelou um volume de perdas médio de 119,2 toneladas por mês e um desvio padrão de 92,56 toneladas.

Os valores calculados para Cpk e Ppk indicaram que o processo não foi capaz, nas condições apresentadas, de atender as especificações entre 0 e 25 toneladas de perda por mês.

A análise do Gráfico 2 mostra que as perdas no sistema de estocagem de eteno apresentaram uma probabilidade de perdas da ordem 952.380 toneladas para cada 1.000.000 de oportunidades (*Observed Performance* PPM < USL). Ou seja, em 95% do tempo, durante o período amostrado (entre Janeiro de 2002 e Junho de 2005), o processo perdeu mais do que as 25 toneladas permitidas pelo limite de especificação.

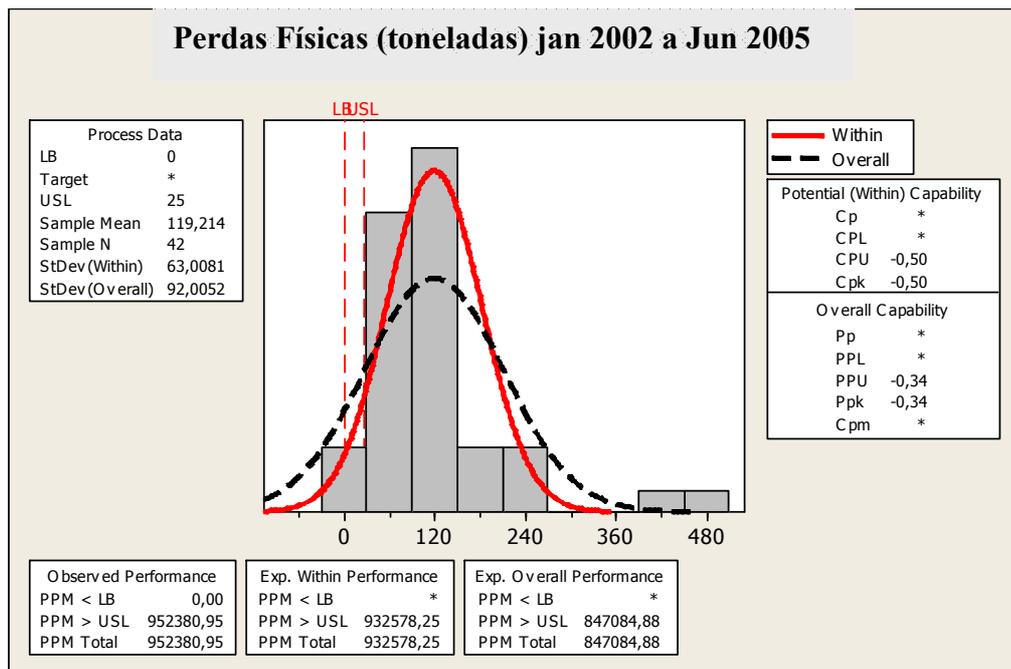


Gráfico 2 – Análise de capacidade considerando as perdas de eteno na estocagem antes do Braskem+

Fonte: O autor

A partir do início de 2005, 32 projetos de melhoria foram implantados através da aplicação da sistemática do Seis Sigma, sendo que as melhorias se concentraram entre julho e outubro de 2005 e a sua conclusão ocorreu ao final do ano deste ano. O esforço empreendido para implantar os projetos de melhoria voltados para a redução de perdas consumiu aproximadamente 17.410 horas. Após a implantação dos últimos projetos, os dados foram novamente mensurados e estão representados no Gráfico 3.

Uma análise preliminar dos dados coletados mostra que a média de perda na estocagem após a implantação dos projetos, apresentou-se em torno de 5 toneladas/mês (0,005% da produção mensal), contra aproximadamente 119 antes do Braskem+. Além disso, o desvio padrão reduziu de 92,56 toneladas para 5,69.

Foi realizada análise de capacidade após os projetos implantados e o Gráfico 3 demonstra que a probabilidade de perdas de eteno para os valores especificados é praticamente Zero. Ou seja, em 100% do tempo, compreendido entre novembro de 2005 e setembro de 2007, as perdas físicas não excederam as 25 toneladas estabelecidas como limite superior de especificação.

Os valores de Cpk e Ppk alcançaram 2,29 e 1,17 respectivamente, demonstrando a melhoria do processo em atender as especificações.

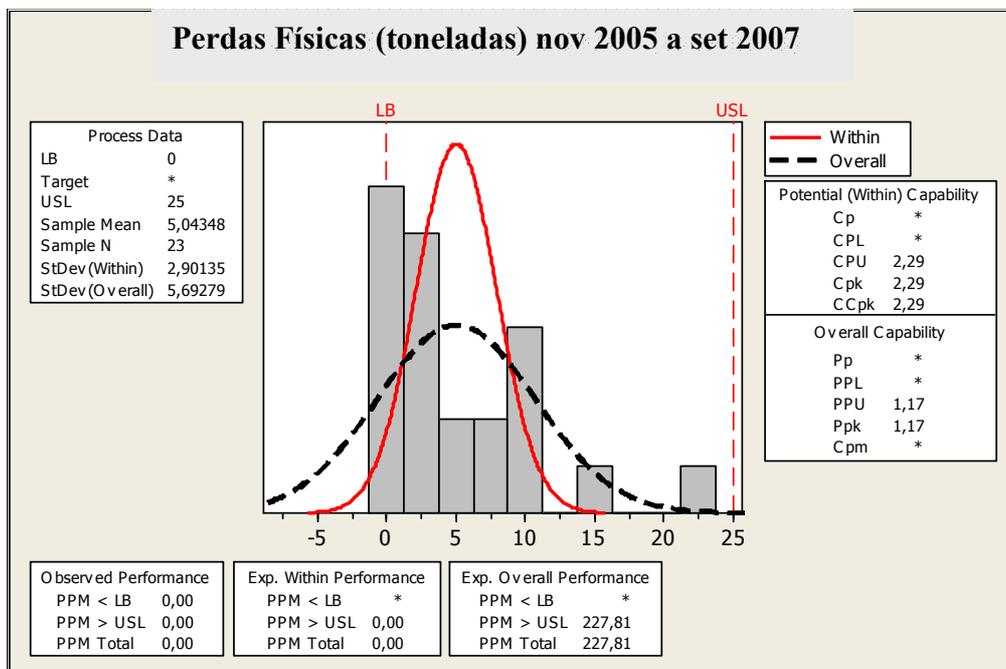


Gráfico 3 - Análise de capacidade considerando as perdas de eteno na estocagem após o Braskem+

Fonte: O autor

A comparação dos dados antes e após a implantação das melhorias , através do teste T de Student, mostra uma significativa evolução obtida na redução das perdas de eteno na estocagem. O valor de P (menor do que 0,05) constante na Figura 12, permite, com 95% de confiança, rejeitar a hipótese de que os dados de Perdas de Eteno 01_02 a 06_05 (Jan/2002 a Jun/2005) e Perdas de Eteno 11_05 a 09_07 (Nov/2005 a Set/2007) pertençam a um mesmo conjunto.

Two-Sample T-Test and CI: Perdas 01_02 a 06_05; Perdas 11_05 a 09_07

Two-sample T for Perdas 01_02 a 06_05 vs Perdas 11_05 a 09_07

	N	Mean	StDev	SE Mean
Perdas 01_02 a 06_05	42	119,2	92,0	14
Perdas 11_05 a 09_07	23	5,04	5,63	1,2

Difference = mu (Perdas 01_02 a 06_05) - mu (Perdas 11_05 a 09_07)

Estimate for difference: 114,171

95% CI for difference: (85,402; 142,939)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 8,01 **P-Value = 0,000** Df = 41

Figura 12 - Teste T para conjunto de dados de Perdas Físicas 01_02 a 06_05 e 11_05 a 09_07

Fonte: O autor

Confirmando o teste, o Gráfico 4 mostra que as Perdas após a implantação dos projetos do Braskem+ é significativamente menor (tanto na média na quanto na dispersão) do que antes. Assim, é possível concluir que a implantação da sistemática Seis Sigma trouxe melhoria significativa para a unidade estudada reduzindo as perdas físicas de Eteno na estocagem.

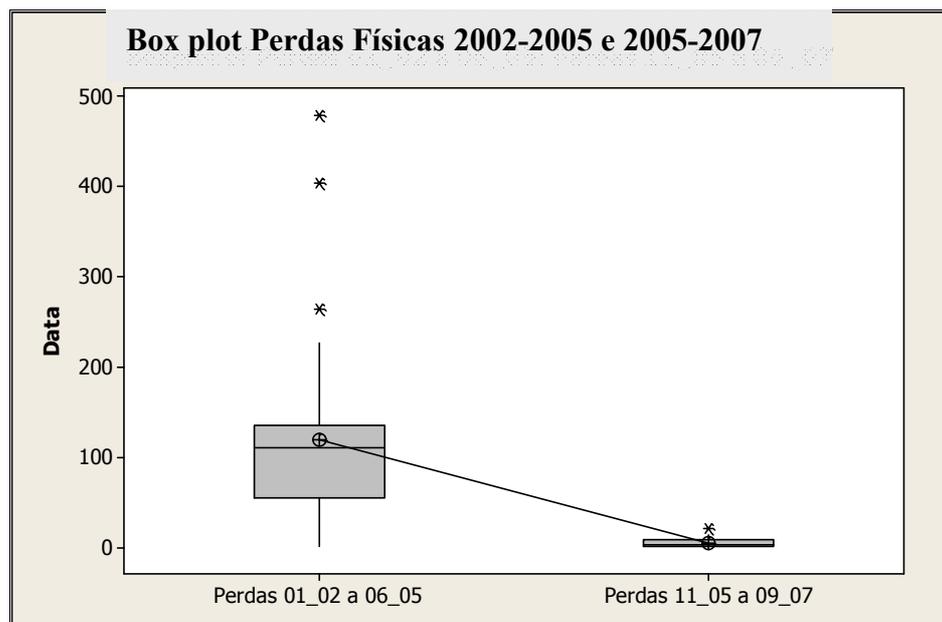


Gráfico 4 - Análise de média e dispersão da Perda Física de Eteno antes e após Seis Sigma

Fonte: O atutor

5.1.2 Eficiência Energética

Os dados coletados no SDCD e exportados para o minitab referentes ao período antes da implantação do Braskem+ estão representados no Gráfico 5.

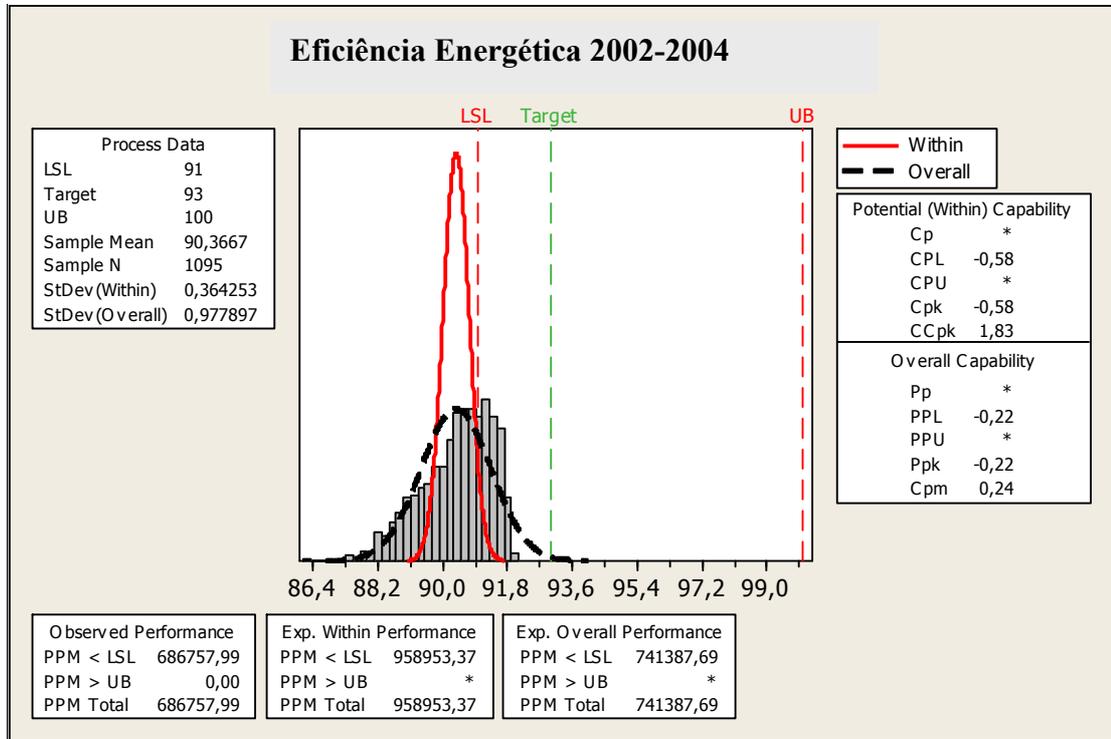


Gráfico 5 – Análise de capacidade dos dados de eficiência energética entre 2002 e 2004

Fonte: O autor

A partir da análise desse gráfico, algumas observações puderam ser feitas:

- a) os valores máximos de eficiência energética obtidos no período em estudo ficaram abaixo do valor de projeto do sistema – 93%;
- b) a média da eficiência energética para o período foi de 90,37% e o desvio padrão de 0,977;
- c) a média da eficiência energética ficou abaixo do Limite Inferior de Especificação (91%);
- d) a análise de capacidade baseada nos dados coletados e no parâmetro de projeto (especificação entre 91 e 100% com alvo de operação de 93%) demonstra o que o processo não era capaz de atender a especificação.
- e) durante 68,7% dos dados (entre 2002-2004) a eficiência energética ficou abaixo do limite Inferior de especificação.

Para promover melhorias na eficiência energética, foi utilizada a sistemática Seis Sigma, que teve por principal objetivo otimizar a performance do processo e, com isso a eficiência do sistema. Ao final da sua aplicação, foram introduzidas 43 melhorias em todo o processo de geração de vapor o que contabilizou um total de 4.608 horas de trabalho de equipes multidisciplinares, envolvendo, principalmente operação, manutenção, engenharia, laboratório e tecnologia.

As principais ações de melhoria implantadas estão listadas a seguir:

- a) revisão dos mecanismos de transferência de calor => Revisão de isolamentos térmicos, pré-aquecedores e purgadores;
- b) revisão dos mecanismos de combustão => distribuição dos fluxos de ar, distribuição dos fluxos de combustíveis, nebulização dos combustíveis líquidos;
- c) controle químico da água para geração do vapor;
- d) estudo de metalurgia de queimadores => verificação de ligas metálicas para eliminação da erosão dos queimadores;

Após a implantação das referidas melhorias, uma nova medição foi realizada, correspondendo ao período de 2005 a 2007. Os dados coletados estão no

Gráfico 6 (Eficiência Energética (%) 2005-2007).

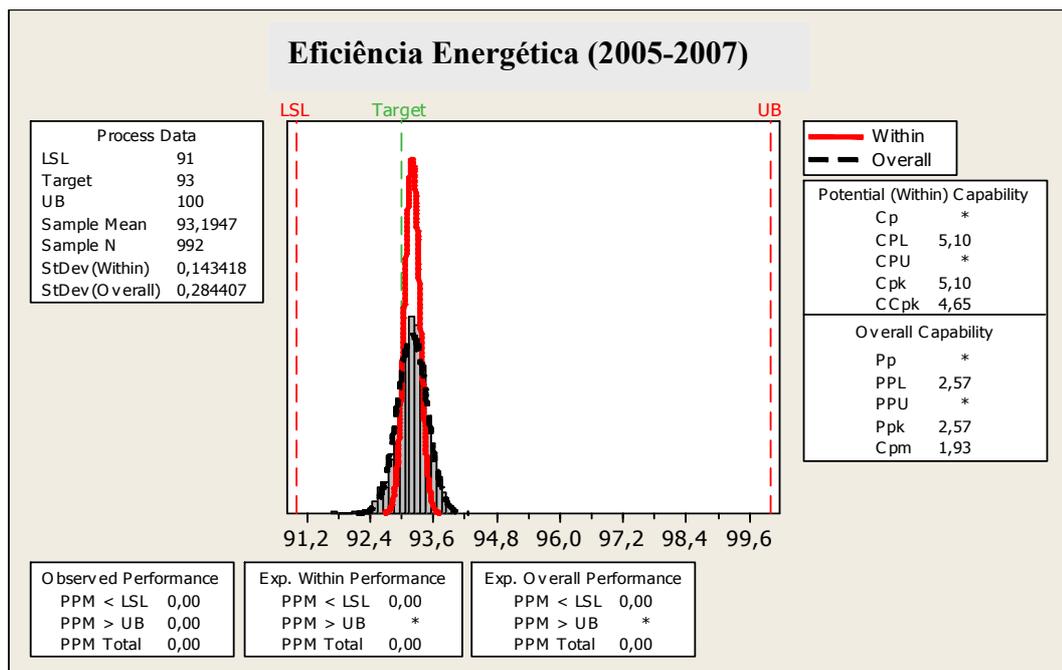


Gráfico 6 - Análise de capacidade dos dados de eficiência energética entre 2005 e 2007

Fonte: O autor

A partir da análise desse gráfico, pôde-se fazer as seguintes observações:

- a) a média da eficiência energética para o período foi de 93,19% e o desvio padrão 0,284;
- b) a média da eficiência energética após implantação das melhorias ficou acima do valor de projeto do sistema de 93% e os valores mínimos alcançados, acima do Limite Inferior de Especificação (91%);
- c) a análise de capacidade baseada no novo conjunto de dados e nos parâmetros de projeto (especificação entre 91 e 100% e alvo de operação de 93%) demonstra o que o processo passou a ser capaz de atender a especificação. O
- d) Gráfico 6 mostra a que a dispersão dos dados em torno da média posicionam-se dentro dos Limites de Especificação.
- e) também do gráfico observa-se que a probabilidade de falhas do processo abaixo do limite inferior de especificação é praticamente nula para cada 1.000.000 de vezes. Esses valores constam da primeira tabela inferior esquerda no gráfico em referência (Observed Performance PPM < LSL).
- f) Gráfico 6 observa-se que em 100% do período a eficiência energética esteve dentro dos limites de especificação estabelecidos;
- g) os índices Ppk / Cpk demonstram que o processo passou a ser capaz de atender as especificações, uma vez que tiveram valores de 5,10 e 2,57, respectivamente.

A verificação da significância estatística das diferenças entre o conjunto de dados após a implantação do seis sigma e o conjunto de dados antes da sua implantação, foi realizada com a utilização do Teste T de Student cujos dados estão representados na Figura 13. Para facilitar a visualização e análise gráfica, foi utilizado o *box plo*, onde podem ser observados o posicionamento da média e a dispersão dos dados, para os dois períodos (Gráfico 7). A comparação dos dados antes e após a implantação das melhorias confirma a evolução obtida na eficiência energética da unidade estudada. O valor de p (menor do que 0,05) (Figura 13) permite, com 95% de confiança, rejeitar a hipótese de que os dados de Eficiência Energética 2002-2004 (Ef2002-2004) e 2005-2007 (Ef 2005-2007) pertencem a um mesmo conjunto. Observa-se que o Gráfico 7 demonstra que a Eficiência Energética após a implantação das melhorias é significativamente melhor (na média e na dispersão) do que estava no período anterior à implantação. Assim, é possível concluir que a implantação da sistemática Seis

Sigma trouxe melhoria na Eficiência Energética estatisticamente significativa para unidade estudada.

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ef 2002-2004	1094	90,367	0,978	0,030
Ef 2005-2007	992	93,195	0,284	0,0090

Difference = mu (Ef 2002-2004) - mu (Ef 2005-2007)
 Estimate for difference: -2,82759
 95% CI for difference: (-2,88824; -2,76694)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -91,46 P-Value = 0,000 DF = 1293

Figura 13 – Teste T para conjunto de dados de Eficiência Energética 2002-2004 e 2005-2006
 Fonte: O autor

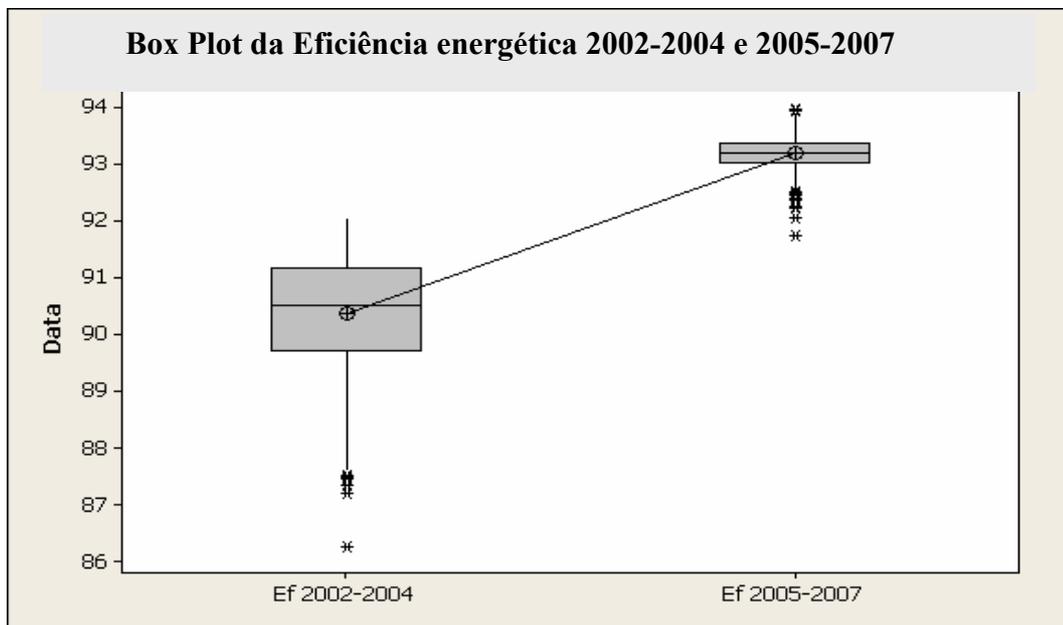


Gráfico 7 – Análise de média e dispersão da Eficiência Energética antes e Seis Sigma
 Fonte: O autor

5.1.3 Taxa de Utilização do Ativo

Os dados coletados no período entre 2002 e 2004 para a variável apontam para uma taxa de utilização média de 81,9% e uma variabilidade, medida pelo desvio padrão, de 14,12%. Analisando-se a distribuição dos valores de taxa de utilização do ativo e considerando-se os limites estabelecidos entre 92 e 100%, pode-se perceber, pelo Gráfico 8, que em 75% dos casos não era possível atender aos referidos limites.

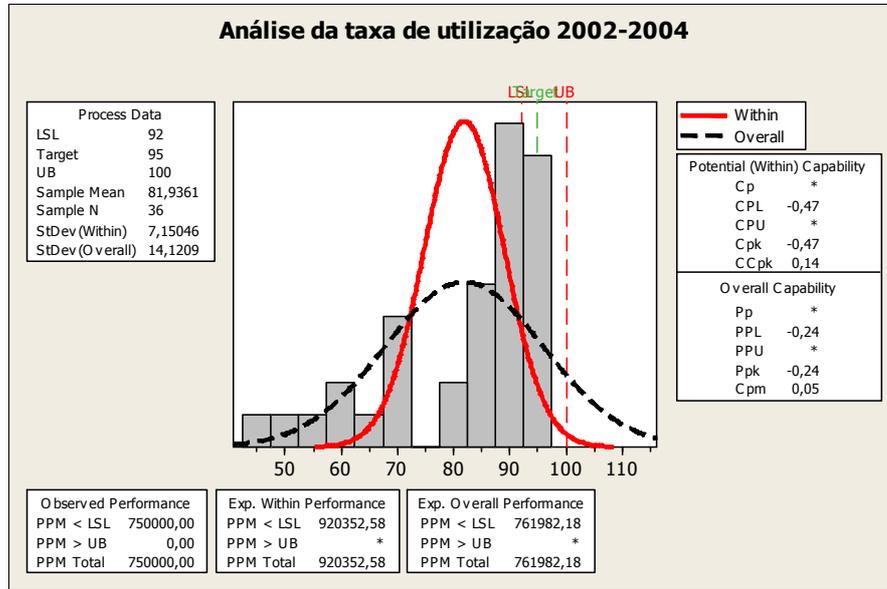


Gráfico 8 – Análise de capacidade da taxa de utilização entre 2002 e 2004
 Fonte: O autor

Após a implantação do Braskem +, a taxa de utilização das plantas passou a ser um dos focos de atenção, e um total de 40 projetos de melhoria foram implantados com foco em reduzir as quebras e paradas não programadas de equipamentos que poderiam causar impacto na taxa de utilização do ativo. A sistemática consumiu 27.530 horas de trabalho. Como resultado, pôde-se observar uma elevação da média da taxa de utilização do ativo para 90,4% e uma redução da sua variabilidade, com um desvio padrão de 5,2% (Gráfico 9).

Da mesma forma, também foi realizada uma análise de capacidade do processo, para avaliar a evolução do mesmo em relação ao período anterior. O Gráfico 9 demonstra que o percentual de casos em que a taxa de utilização do ativo estava fora dos limites de especificação foi reduzida de 75% para aproximadamente 59%.

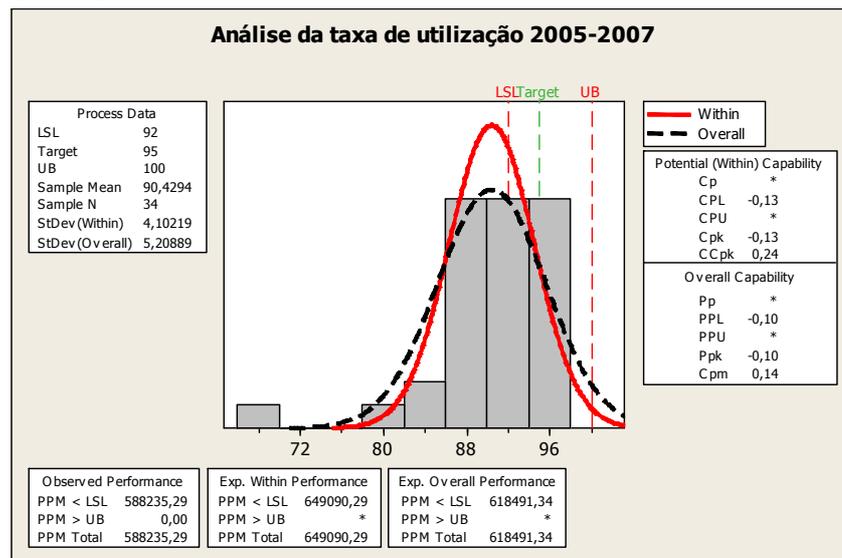


Gráfico 9 – Análise de capacidade da taxa de utilização entre 2005 e 2007
 Fonte: O autor

Embora a taxa de utilização do ativo ainda não atenda integralmente aos parâmetros desejados, foram realizados testes de significância estatística entre o conjunto de dados antes e após a implantação das melhorias, e o resultado mostra uma significativa evolução obtida no aumento da taxa de utilização dos ativos. A Figura 14 mostra que o valor de p (menor do que 0,05) permite, com 95% de confiança, rejeitar a hipótese de que os dados de taxa 2002-2004 e taxa 2005-2007 pertençam a um mesmo conjunto. Por outro lado, o Gráfico 10 demonstra que além de diferentes estatisticamente, o conjunto de dados da Taxa 2005-2007 é melhor do que o conjunto Taxa 2002-2004 (a média é maior e a variância menor).

Two-Sample T-Test and CI: Taxa 2002-2004; Taxa 2005-2007

Two-sample T for Taxa 2002-2004 vs Taxa 2005-2007

	N	Mean	StDev	SE Mean
Taxa 2002-2004	36	81,9	14,0	2,3
Taxa 2005-2007	34	90,43	5,17	0,89

Difference = μ (Taxa 2002-2004) - μ (Taxa 2005-2007)

Estimate for difference: -8,49330

95% CI for difference: (-13,53026; -3,45635)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3,40 (P-Value = 0,001) DF = 44

Figura 14 - Teste T para conjunto de dados Taxa 2002-2004 e Taxa 2005-2007

Fonte: O autor

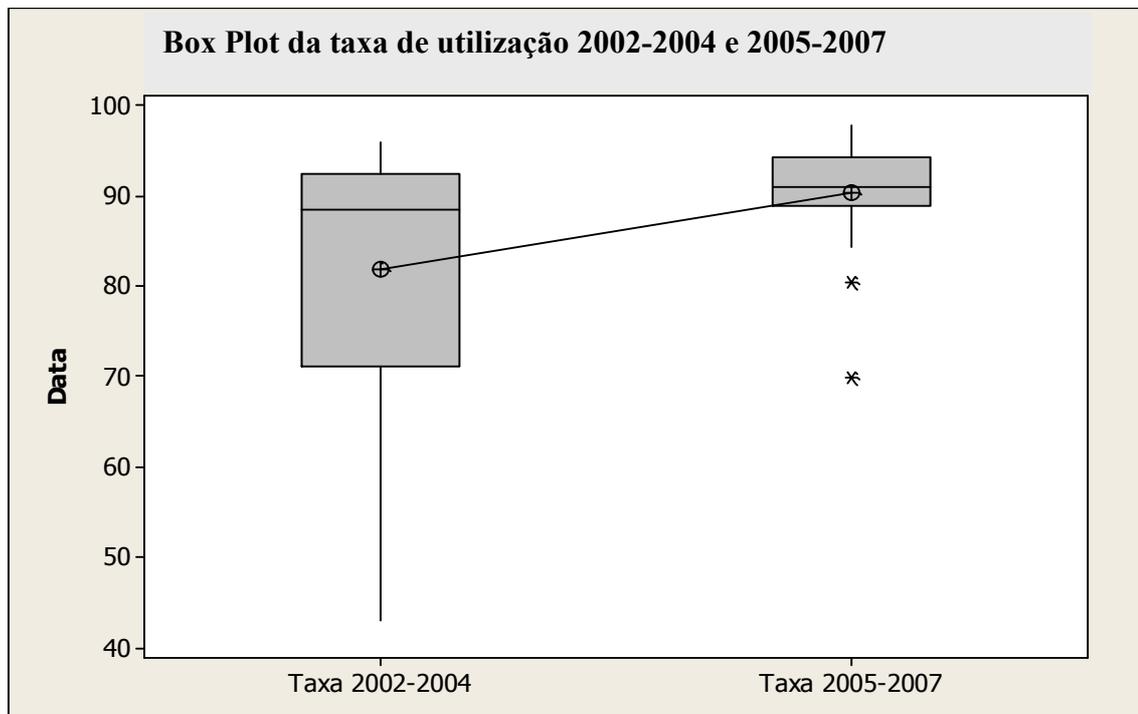


Gráfico 10 - Análise de média e dispersão da taxa de utilização antes e após melhorias da sistemática TPM

Fonte: O autor

5.2 COMPARAÇÃO COM AS EMPRESAS DE ALTA PERFORMANCE

Durante o ano de 2003, um trabalho de *benchmarking* foi realizado pela Braskem, com o intuito de comparar o desempenho daquela empresa com empresas mundiais consideradas como “empresas de alta performance”. A *Solomon Associates* foi a consultoria escolhida para desempenhar esse trabalho pelos seguintes motivos:

- a) possui o maior banco de dados com informações sobre empresas petroquímicas;
- b) tem um modelo de análise maduro, com pelo menos 20 anos de análises, que permite normalizar influências de fatores importantes como tamanho das plantas, idade tecnológica, fontes de matéria prima, dentre outros.
- c) possui os dados das maiores empresas “*world class*” no ramo petroquímico;
- d) tem um histórico de trabalhos de *benchamarking* com a Braskem há, pelo menos, 10 anos.

Todos os dados de desempenho industrial da Braskem do ano de 2002 foram enviados à *Solomon* e comparados com os melhores resultados obtidos pelas empresas de alta performance no mesmo período. O resumo dos dados referentes as três variáveis escolhidas encontra-se no Quadro 4, o qual é uma extensão do Quadro 2, (página 51).

Variável	Desempenho Braskem	Desempenho “ <i>World Class</i> ”	GAP	Posicionamento
Perdas Físicas	0,10%	0,004%	0,096%	3º Quartil
Eficiência Energética	89,5%	96%	6,5%	3º Quartil
Taxa de Utilização do Ativo	76,7%	97,2%	20,5%	3º Quartil

Quadro 4 – Dados comparativos da Braskem com empresas de alta performance, 2002
Ffonte: Relatório *Solomon Associates* Anexo I

A partir da análise dos dados acima é possível verificar que a Braskem, logo após a sua formação, em 2002, encontrava-se numa posição pouco favorável (3º Quartil) em comparação com as empresas consideradas de “Classe Mundial”. Foi com base nesses *gaps* identificados, que a empresa decidiu iniciar a implantação do Braskem +, visando estruturar de maneira sistêmica o modelo de produção, elevando a posição comparativa da empresa em relação àquelas consideradas como empresas de alta performance. O reflexo da implantação do Braskem +, através do Seis Sigma e do TPM nas três variáveis escolhidas, encontra-se no Quadro 5. Os dados utilizados para a comparação após a implantação dos projetos Seis Sigma e TPM, correspondem as médias do período 2005-2007, e foram comparados com os dados obtidos no trabalho realizado pela *Solomon Associates*. Esta

comparação levou em conta as referências de desempenho World Class fornecidas pela *Solomon*. No Quadro 5, as primeiras três colunas, a quinta e sexta colunas são originadas do *benchmarking*. A quarta coluna faz referência aos valores de projeto da planta petroquímica estudada. A sétima coluna relaciona os valores médios das três variáveis após a implantação do Braskem+ no período de 2005-2007 e a oitava coluna compara esses valores com as referências *World Class*.

Variável	Desempenho antes do Braskem+	Desempenho “World Class”	Referência de Projeto	GAP antes do Braskem +	Posicionamento antes do Braskem +	Desempenho após o Braskem +	GAP após o Braskem +
Eficiência Energética	89,5%	96%	93%	6,5%	3º Quartil	93,2%	2,8%
Perdas Físicas	0,10%	0,004%	0,02%	0,096%	3º Quartil	0,005%	0,001%
Taxa de Utilização do Ativo	76,7%	97,2%	95%	20,5%	3º Quartil	90,4%	6,8%

Quadro 5 - Dados comparativos da Braskem com empresas de alta performance, 2005-2007
Fonte: o autor

Os dados demonstram que a implantação do Braskem+, a empresa apresentou uma evolução significativa em relação às melhores do mundo, posicionando-a, em alguns casos, entre as melhores – como foi o caso das perdas físicas e eficiência energética. Uma avaliação semelhante pode ser feita em relação à referência de projeto do ativo existente: após a implantação do Braskem+, a empresa superou as referências estabelecidas em projeto, para os casos de eficiência energética e das perdas físicas. A exceção coube a Taxa de Utilização do Ativo. Entretanto, conforme comentado no item 5.1.3, essa variável sofre forte influência de fatores exógenos como demanda do mercado e suprimento de matérias primas.

5.3 CORRELAÇÃO ENTRE ESFORÇOS EMPREENDIDOS E MELHORIAS

Para implantar todas as melhorias com o objetivo de evoluir o desempenho das três variáveis perdas físicas, eficiência energética e taxa de utilização dos ativos, foram despendidos os esforços demonstrados no Quadro 6.

Variável	Sistemática	Esforço		Resultado	Estatisticamente diferente (melhor após o Braskem +)
		Qtde Projetos	Horas		
Perdas Físicas	Seis Sigma	32	17.410	Redução de 114,16 t/mês (na média) e 86,37 t/mês no desvio padrão	Sim
Eficiência Energética	Seis Sigma	43	4.608	Aumento de 2,8% (na média) e redução de 0,694% no desvio	Sim

				padrão	
Taxa de Utilização	TPM	40	27.530	Aumento de 8,5% (na média) e redução de 8,83% no desvio padrão	Sim

Quadro 6 – Resumo do esforço empreendido no Braskem+ para melhoria
Fonte: o autor

Como observado, o Seis Sigma consumiu em torno de 22.018 horas, num total de 75 projetos de melhoria. Da mesma forma, o total dedicado ao TPM foi de 27.530 horas, num total de 40 projetos. Para a verificação de correlação entre o esforço empreendido e o resultado obtido foram feitas as análises por variável, tentando correlacionar as variáveis estudadas com o acumulado de horas e acumulado de projetos. Os dados e as análises estão detalhadas por cada variável.

5.3.1 Perdas Físicas

Os dados de esforço empreendido medido em horas e quantidade de projetos e os resultados obtidos para a variável de perdas físicas foram tabelados de acordo com o Quadro 7.

Data de implantação da melhoria	Perda Física (ton eteno)	Projetos acumulados	Horas acumuladas	Projetos	Horas
mar-05	47	1	527	1	527
abr-05	129	2	1054	1	527
mai-05	1095	4	2107	2	1054
jun-05	837	6	3161	2	1054
jul-05	476	10	5268	4	2107
ago-05	22	15	8030	5	2762
set-05	11	20	10741	5	2711
out-05	2	23	12399	3	1658
nov-05	5	27	14622	4	2223
dez-05	2	30	16279	3	1658
jan-06	4	32	17410	2	1131

Quadro 7 – Tabulação de projetos, horas e os resultados obtidos em perdas físicas
Fonte: O autor

Os dados de quantidades de projetos acumulados e perdas físicas e horas acumuladas e perdas físicas foram colocados em gráficos de dispersão e analisados conforme linhas de tendência para verificar o coeficiente de correlação. As equações possíveis e os respectivos coeficientes r^2 estão demonstrados no Quadro 8 e no Quadro 9, para as respectivas relações: perdas físicas e quantidade de projetos e perdas físicas e quantidade de horas.

Relação entre perdas físicas e a quantidade de projetos		
Tipo de correlação	Fórmula	r^2
Logarítmica	$y = -121,09\ln(x) + 516,27$	0,1342
Linear	$y = -18,898x + 531,19$	0,3148
Potencia	$y = 701,85x - 1,3359$	0,4344
Exponencial	$y = 480,59e^{-0,1733x}$	0,7045
Polinomial 5º grau	$y = 0,0023x^5 - 0,2216x^4 + 8,0167x^3 - 128,22x^2 + 805,09x - 761,89$	0,9019

Quadro 8 – Possíveis correlações entre quantidade de projetos e perdas físicas
Fonte: O autor

Relação entre perdas físicas e a quantidade de horas acumuladas		
Tipo de correlação	Fórmula	r^2
Logarítmica	$y = -121,14\ln(x) + 1277,2$	0,137
Linear	$y = -0,0348x + 528,75$	0,3162
Potencia	$y = 3E+06x^{-1,3304}$	0,4395
Exponencial	$y = 469,24e^{-0,0003x}$	0,7068
Polinomial 5º grau	$y = 5E-17x^5 - 3E-12x^4 + 5E-08x^3 - 0,0004x^2 + 1,491x - 741,78$	0,901

Quadro 9 – Possíveis correlações entre quantidade de horas e perdas físicas
Fonte: O autor

Pela análise das possíveis correlações, tanto utilizando a quantidade de projetos como as horas empreendidas, é possível verificar que a relação Polinomial de quinto grau é possível por apresentar um coeficiente de correlação mais próximo a um. Os Gráfico 11 e 12 representam a dispersão e a linha de tendência para a correlação quantidade de projetos versus perdas físicas e quantidade de horas versus perdas físicas respectivamente. Os gráficos apresentados são o resultado de uma equação polinomial de grau 5 com coeficiente de correlação próximo a 1. É importante se notar que à medida que mais projetos e mais horas são dedicadas à implantação das melhorias, menor a perda física.

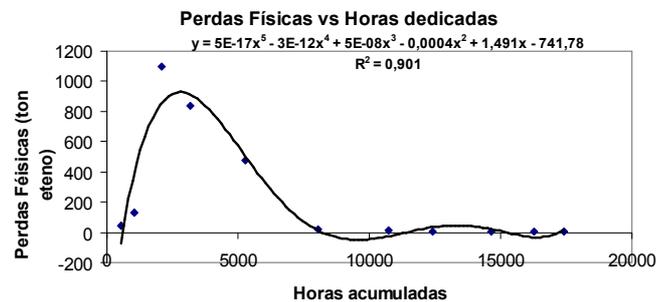
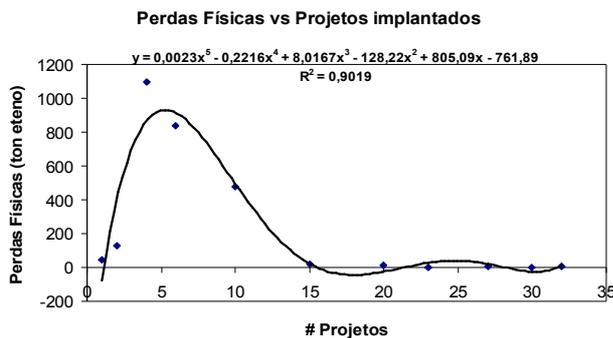


Gráfico 11 e Gráfico 12 – Correlações: perdas físicas vs Projetos implantados e Perdas físicas vs horas dedicadas

Fonte: O autor

5.3.2 Eficiência Energética

Os dados de esforços empreendidos medidos em horas e quantidade de projetos e os resultados obtidos para a variável eficiência energética foram tabelados de acordo com o Quadro 10.

Data de implantação da melhoria	Eficiência Energética (%)	Projetos	Horas	Acum Projeto	Acum Horas
1/9/04	91,51	1	48	1	48
1/10/04	90,62	2	225	3	273
1/11/04	90,23	4	504	7	777
1/12/04	89,83	5	761	12	1538
1/1/05	93,03	6	948	18	2486
1/2/05	93,20	6	755	24	3242
1/3/05	93,20	6	509	30	3751
1/4/05	93,16	4	413	34	4163
1/5/05	93,12	4	268	38	4431
1/6/05	93,01	3	145	41	4576
1/7/05	93,18	2	32	43	4608

Quadro 10 - Tabulação de projetos, horas e os resultados obtidos em eficiência energética
Fonte: O autor

Os dados de quantidades de projetos acumulados e eficiência energética e horas acumuladas e eficiência energética foram colocados em gráficos de dispersão e analisados conforme linhas de tendência para verificar o coeficiente de correlação. As equações possíveis e os respectivos coeficientes r^2 estão demonstrados no Quadro 11 e no Quadro 12, para as respectivas relações: eficiência energética e quantidade de projetos e eficiência energética e quantidade de horas.

Relação entre Eficiência Energética e a Quantidade de projetos		
Tipo de Correlação	Fórmula	r^2
Potencia	$y = 90,173x^{0,0082}$	0,4528
Logarítmica	$y = 0,7525\ln(x) + 90,164$	0,4559
Exponencial	$y = 90,608e^{0,0008x}$	0,6212
Linear	$y = 0,0693x + 90,609$	0,6233
Polinomial 4º grau	$y = 3E-05x^4 - 0,0027x^3 + 0,0848x^2 - 0,8158x + 92,319$	0,9147
Polinomial 5º grau	$y = -3E-07x^5 + 6E-05x^4 - 0,0041x^3 + 0,1081x^2 - 0,9564x + 92,503$	0,9171

Quadro 11 - Possíveis correlações entre quantidade de projetos e eficiência energética
Fonte: O autor

Relação entre Eficiência Energética e Quantidade de horas		
Tipo de Correlação	Fórmula	r^2
Potencia	$y = 88,018x^{0,0063}$	0,3817
Logarítmica	$y = 0,5763\ln(x) + 87,937$	0,3848
Exponencial	$y = 90,476e^{7E-06x}$	0,6786
Linear	$y = 0,0006x + 90,476$	0,681
Polinomial 2º grau	$y = 9E-09x^2 + 0,0006x + 90,502$	0,6812
Polinomial 3º grau	$y = -3E-10x^3 + 2E-06x^2 - 0,0031x + 91,461$	0,8947
Polinomial 4º grau	$y = 1E-13x^4 - 1E-09x^3 + 5E-06x^2 - 0,0061x + 91,915$	0,938

Quadro 12 - Possíveis correlações entre quantidade de horas e eficiência energética
Fonte: O autor

Pela análise das possíveis correlações, tanto utilizando a quantidade acumulada de projetos como as horas acumuladas empreendidas, é possível verificar que as relações Polinomiais de quarto e de quinto grau são as que apresentam um coeficiente de correlação mais próximo a um para quantidade de projetos e quantidade de horas, respectivamente. Os Gráfico 13 e 14 representam a dispersão e a linha de tendência para a correlação eficiência energética versus quantidade de projetos e eficiência energética versus quantidade de horas respectivamente. Os gráficos apresentados são o resultado de uma equação polinomial de graus 5 e 4, respectivamente com coeficiente de correlação próximo a 1. Importante notar que à medida que aumentam a quantidade de projetos e a quantidade de horas, a eficiência energética aumenta.

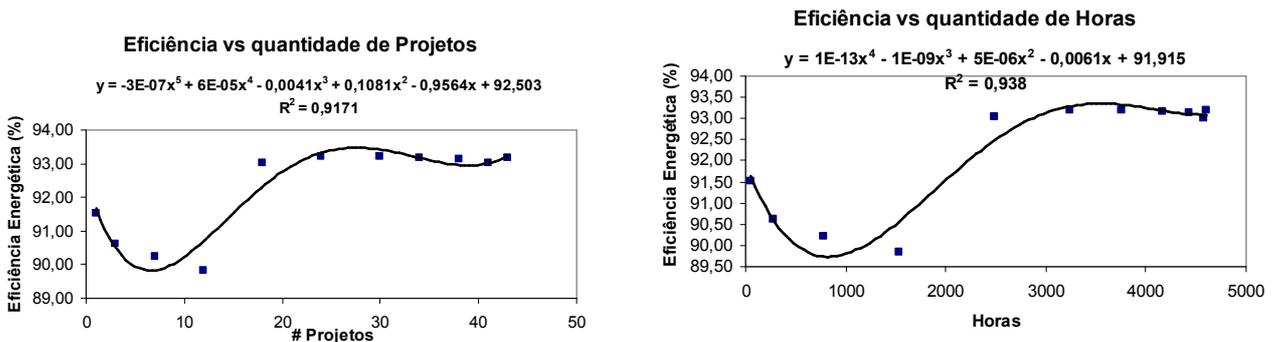


Gráfico 13 e Gráfico 14 - Correlações: eficiência energética vs Projetos implantados e eficiência energética vs horas dedicadas
Fonte: O autor

5.3.3 Taxa de Utilização do Ativo

Os dados de esforço empreendido medido em horas e quantidade de projetos e os resultados obtidos para a variável taxa de utilização foram tabelados de acordo com o Quadro 13.

Data de Implantação das melhorias	Taxa de Utilização do ativo (%)	Projetos	Horas	Acum Projet	Acum Horas
fev/03	71,0	2	543	2	543
mar/03	69,2	3	754	5	1297
abr/03	82,3	5	1345	10	2642
mai/03	71,2	7	4567	17	7209
jun/03	70,6	5	3567	22	10776
jul/03	90,9	4	2879	26	13655
ago/03	88,8	3	2545	29	16200
set/03	89,4	3	2768	32	18968
out/03	94,3	3	2980	35	21948
nov/03	85,3	3	3456	38	25404
dez/03	92,8	2	2126	40	27530

Quadro 13 – Tabulação de projetos, horas e os resultados obtidos em taxa de utilização
Fonte: O autor

Os dados de taxa de utilização e quantidades de projetos acumulados e taxa de utilização e horas acumuladas foram colocados em gráficos de dispersão e analisados conforme linhas de tendência para verificar o coeficiente de correlação. As equações possíveis e os respectivos coeficientes r^2 estão demonstrados no Quadro 14 e no Quadro 15 para as respectivas relações: taxa de utilização e quantidade de projetos e taxa de utilização e quantidade de horas.

Relação entre Taxa de utilização e Quantidade de projetos		
Tipo de Correlação	Fórmula	r^2
Logarítmica	$y = 7,5136\ln(x) + 60,82$	0,523
Potencia	$y = 62,584x^{0,0934}$	0,5235
Exponencial	$y = 68,819e^{0,0074x}$	0,6299
Linear	$y = 0,5983x + 68,413$	0,6336
Polinomial 2º Grau	$y = 0,0043x^2 + 0,4194x + 69,591$	0,6369
Polinomial 3º Grau	$y = -0,0011x^3 + 0,0744x^2 - 0,792x + 73,675$	0,6572
Polinomial 4º Grau	$y = -0,0002x^4 + 0,0152x^3 - 0,3751x^2 + 3,567x + 63,787$	0,7185
Polinomial 5º Grau	$y = 1E-05x^5 - 0,0016x^4 + 0,0669x^3 - 1,2142x^2 + 8,9116x + 54,717y =$	0,7434

Quadro 14 - Possíveis correlações entre quantidade de projetos e taxa de utilização
Fonte: O autor

Relação entre Taxa de utilização e Quantidade de Horas		
Tipo de Correlação	Fórmula	r^2
Potencia	$y = 1E-11x^{7,7816}$	0,536
Exponencial	$y = 2,7818e^{0,0968x}$	0,5375
Logarítmica	$y = 60771\ln(x) - 254345$	0,6086
Linear	$y = 758,42x - 49158$	0,6141
Polinomial 2º Grau	$y = 18,369x^2 - 2218x + 69728$	0,624
Polinomial 3º Grau	$y = -1,3311x^3 + 348,51x^2 - 29343x + 807498$	0,6254
Polinomial 4º Grau	$y = -0,2802x^4 + 90,976x^3 - 11012x^2 + 589587x - 1E+07$	0,6302
Polinomial 5º Grau	$y = 2E-19x^5 - 1E-14x^4 + 3E-10x^3 - 3E-06x^2 + 0,011x + 64,173$	0,828

Quadro 15 - Possíveis correlações entre quantidade de horas e taxa de utilização
Fonte: O autor

Pela análise das possíveis correlações, tanto utilizando a quantidade acumulada de projetos como as horas acumuladas empreendidas, é possível verificar que a relação Polinomial de quinto grau é a que apresenta um coeficiente de correlação mais próximo a um. Os

Gráfico 15 e 16 representam a dispersão e a linha de tendência para a correlação taxa de utilização versus quantidade de projetos e taxa de utilização versus quantidade de horas respectivamente. Os gráficos apresentados são o resultado de uma equação polinomial de

grau 5 com coeficiente de correlação próximo a 1. É importante notar que à medida que projeto e horas aumentam, também aumenta a taxa de utilização do ativo.

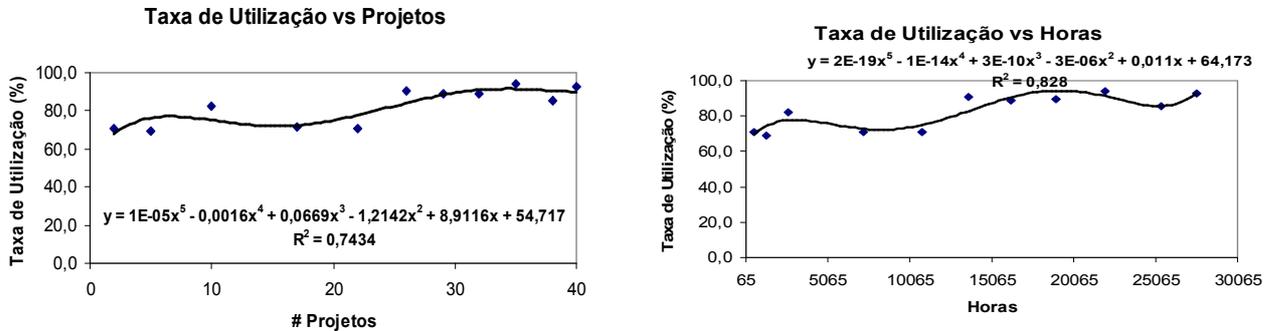


Gráfico 15 e Gráfico 16 - Correlações: taxa de utilização vs Projetos implantados e taxa de utilização vs horas dedicadas
 Fonte: O autor

5.3.4 Resumo das análises de Correlação

No Quadro 16 estão relacionadas as sistemáticas implantadas, as variáveis de resultado e esforço mensuradas, correlações mais prováveis existente entre elas e coeficiente de correlação e classificação da correlação encontrados.

Sistemática	Variável de Resultado (y)	Variável de Esforço (x)	Tipo de Correlação	r^2	Classificação da correlação
Seis Sigma	Perda Física	Acumulado de Projetos	Polinomial de 5º grau	0,9019	Forte
Seis Sigma	Perda Física	Acumulado de Horas	Polinomial de 5º grau	0,9010	Forte
Seis Sigma	Eficiência Energética	Acumulado de Projetos	Polinomial de 5º grau	0,9171	Forte
Seis Sigma	Eficiência Energética	Acumulado de Horas	Polinomial de 4º grau	0,9380	Forte
TPM	Taxa de Utilização	Acumulado de Projetos	Polinomial de 5º grau	0,7434	Alguma Correlação
TPM	Taxa de Utilização	Acumulado de Horas	Polinomial de 5º grau	0,828	Alguma correlação

Quadro 16 – Resumo das sistemáticas implantadas, esforço, resultado obtido, tipo de correlação e coeficiente e classificação da correlação

Fonte: o autor

A partir desse resumo é possível realizar algumas observações:

- para ambas as sistemáticas implantadas, a correlação encontrada mais provável representa uma regressão do tipo polinomial.
- no caso do TPM foi encontrado algum tipo de correlação tanto para taxa de utilização versus o acumulado de projetos como para taxa de utilização versus o acumulado de horas.

- c) no caso do Seis Sigma, foi possível encontrar uma correlações fortes entre perdas físicas e o acumulado de horas/projetos e entre eficiência energética e o acumulado de horas/projetos.
- d) o comportamento das tendências seguiram o que era esperado:
- Aumentando-se a quantidade de projetos e a quantidade de horas, as perdas físicas diminuem;
 - Aumentando-se a quantidade de projetos e a quantidade de horas, a eficiência energética aumenta;
 - Aumentando-se a quantidade de projetos e a quantidade de horas, a taxa de utilização do ativo aumenta.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho de pesquisa teve por principal objetivo aferir as melhorias de *performance* operacional ocorridas na empresa, resultantes da implantação do Sistema de Produção Braskem +, comparando-as com a *performance* de empresas *World Class* e associando-as aos esforços de implantação.

O impacto sobre o desempenho operacional foi mensurado por intermédio de indicadores expressos em três variáveis: perdas físicas; eficiência energética e taxa de utilização do ativo. O desempenho operacional da Braskem foi comparado com o de empresas de classe mundial sob essas três variáveis.

Já o grau de esforço para implantação do Sistema Braskem + foi aferido através da quantidade de projetos de melhorias implantados e das horas dedicadas à implantação dessas melhorias.

Para a realização do referido objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) avaliar as melhorias de desempenho obtidas com a implantação do Sistema Braskem +, por meio de suas componentes, TPM e Seis Sigma, a partir dos resultados alcançados, respectivamente, nos períodos 2002-2004 (antes) e 2005-2007 (depois), analisando os indicadores de perdas físicas, taxa de utilização do ativo e eficiência energética;
- b) comparar o desempenho operacional da Braskem, expresso nos mesmos indicadores, após a implantação do sistema de produção, por meio do *benchmarking* realizado entre a empresa e as principais referências mundiais de alta *performance* operacional;
- c) estabelecer relações de associação entre os níveis de esforços investidos na implantação do TPM e do Seis Sigma e os indicadores de desempenho aferidos.

Esperava-se encontrar os seguintes resultados após coleta, tratamento e interpretação dos dados:

- a) Como tradicionalmente as sistemáticas da qualidade têm o objetivo de melhorar a eficiência operacional dos processos, esperava-se que, após sua aplicação (período 2005-2007), os resultados da empresa estivessem significativamente melhores do que antes do início da sua aplicação (período 2002-2004). Para isso, utilizou-se a análise de capacidade como ferramenta para se comparar a probabilidade dos processos em

atingirem os resultados esperados. A significância estatística das diferenças foi testada em ambos os conjuntos de dados antes e após o Braskem+ utilizando-se o teste T de *Student* e, adicionalmente, foi utilizado o *box plot* para demonstrar graficamente as médias e a variação dos referidos conjuntos de dados, antes e após a implantação das sistemáticas de melhoria.

- **Resultado encontrado e conclusão:** conforme expresso no Quadro 6, foram implantadas 75 melhorias e investidas 22.018 horas no Seis Sigma. Da mesma forma 40 melhorias e um total de 27.530 horas foram investidas no TPM. Somando-se esses números, num período de aproximadamente 3 anos a partir do início da implantação do Braskem+, apenas para evolução do desempenho das três variáveis escolhidas para este trabalho de pesquisa, foram investidas quase 50.000 horas de trabalho. Através da utilização do teste T de *Student*, foi possível comprovar que os respectivos conjuntos de dados para as três variáveis escolhidas (perdas físicas, eficiência energética e taxa de utilização) são estatisticamente diferentes (e melhores) após o início de implantação do Braskem+ do que antes. Além disso, com a utilização da análise de capacidade, foi possível verificar que houve a redução na probabilidade de falhas no atendimento às especificações de cada variável. Em todas as três variáveis foi possível verificar a melhoria estatisticamente significativa tanto em termos de média quanto em termos de variação.
- b) Também era esperado encontrar, em comparação com as empresas de classe mundial, uma redução das lacunas encontradas para os referidos resultados de perdas físicas, eficiência energética e taxa de utilização após a implantação das sistemáticas do Braskem+.
- **Resultado encontrado e conclusão:** conforme os dados apresentados no Quadro 4, é possível verificar que antes do início da implantação do Braskem+ os dados relativos à eficiência operacional, expressos nas três variáveis de performance industrial estudadas, apresentavam valores muito distantes daqueles apresentados pelas empresas tidas como referência na indústria petroquímica. Também é possível verificar que esses mesmos valores se mostraram distantes daqueles considerados como valores esperados quando do projeto original do ativo à época da implantação da empresa. Passados três anos do início de implantação do Braskem+ que tem em seu modelo sistemáticas adotadas por empresas *world class* baseadas em Qualidade Total, pôde-se perceber uma evolução significativa no desempenho da empresa. As três variáveis

escolhidas reduziram significativamente os seus *gaps*, aproximando-se das melhores referências mundiais, conforme expresso no Quadro 5. Uma exceção poderia ser considerada: a taxa de utilização do ativo, onde se percebe uma evolução ainda longe das plantas de alta performance. Entretanto, conforme já comentado, essa variável sofre uma forte influência de fatores exógenos relacionados ao mercado e ao suprimento de matérias primas. Faz-se necessário, contudo, fazer algumas considerações:

- I. O sistema de produção Braskem+, sendo um sistema otimizador, ainda está em implantação. Portanto ainda há muito a ser realizado, principalmente em termos de mudança cultural, que não foi alvo deste estudo, mas que exerce forte influência no desempenho operacional da empresa. Outra consideração importante diz respeito à idade tecnológica dos ativos e ao modelo de aprendizagem tecnológica implantado à época de instalação das empresas do grupo Braskem. Sendo assim, há de se considerar que ainda existem muitas oportunidades de melhorias no que tange à modernização da gestão e o Braskem+ poderá ser o principal agente dessa mudança. Entretanto, ao se considerar a idade tecnológica dos ativos, é preciso lembrar que as melhorias implantadas terão o limite da tecnologia vigente. As novas plantas construídas certamente apresentarão novos patamares de performance acima daqueles das plantas da Braskem com tecnologia de 30 anos atrás.
- II. Ao serem comparados os dados do Quadro 5, foram consideradas as mesmas referências de empresas *World Class* adotadas em 2003. Essa premissa foi empregada principalmente por não haver acesso a informações mais recentes dessas empresas. Em outras palavras, pelo fato de a Braskem não ter realizado novo estudo de *Benchmarking* ao longo dos últimos 3 anos, consideraram-se as mesmas referências utilizadas àquela época. Entretanto, não se pode adotar como premissa que apenas a Braskem adotou sistemáticas de melhoria e todas as outras empresas mundiais permaneceram estagnadas em termos de desempenho por 3 anos. Ou seja, as referências utilizadas devem ser consideradas como “alvos móveis” – a Braskem conseguiu nos últimos anos se aproximar das referências principais, entretanto, muito provavelmente, essas referências já serão melhores do que em 2003.
- c) Por fim, era esperado encontrar relações de associação entre os níveis de esforço investidos na implantação do TPM e Seis Sigma e os indicadores aferidos.

- **Resultado encontrado e conclusão:** conforme contido no Quadro 16 é possível verificar a existência de algum tipo de correlação entre o esforço e o resultado alcançado com a implantação das sistemáticas. No caso do Seis Sigma, foi possível verificar que a correlação polinomial foi forte para o acumulado de horas / projetos e os resultados alcançados em redução de perdas físicas e aumento da eficiência energética. Já no caso do TPM, para a variável da taxa de utilização alguma correlação existe, entretanto, não se pode afirmar que é forte ao relacioná-la com quantidade de projetos e acumulado de horas.

Conforme pôde ser verificado, o Braskem+ foi um sistema de produção desenvolvido pela Braskem, a partir do Sistema de Produção Toyota, com adaptações realizadas para permitir a sua implantação numa empresa de processos contínuos. Seu principal objetivo foi permitir que a empresa, num curto prazo, pudesse alinhar e evoluir no modelo de gestão da produção, utilizando sistemáticas da Qualidade Total já aplicadas em empresas de alta performance. No médio e longo prazos, o Braskem+ servirá como um modelo balizador para novos movimentos de integração e incorporação a serem realizados pela empresa, e deverá evoluir para um sistema de negócio envolvendo todos os elos da cadeia: clientes e fornecedores, além de processos transacionais (administrativos).

Os primeiros três anos de implantação do sistema foram focados na consolidação da cultura de excelência operacional e na redução dos *Gaps* de performance levantados em 2003, quando foi feito o *benchmarking* com empresas de classe mundial. Após esses três anos, pôde-se verificar uma evolução relevante em, pelo menos, três das principais variáveis de performance industrial da empresa, reduzindo consideravelmente os *Gaps* em relação a referência de 2003. Embora o esforço despendido tenha sido grande, os resultados alcançados parecem compensar esse investimento conforme esta pesquisa tenta documentar.

As principais sistemáticas, Seis Sigma e TPM, mostraram-se aderentes às necessidades da empresa e compreendem as principais formas de resolução de problemas e captura de oportunidades de melhoria dos processos produtivos.

A partir dessas afirmações, pode-se concluir que o Braskem+, através do Seis Sigma e do TPM, trouxe para a empresa as melhorias necessárias para evoluir três das suas principais variáveis (eficiência energética, perdas físicas e taxa de utilização) para patamares próximos aos de empresas de classe mundial.

O Quadro 17 reúne as principais idéias dos autores referenciados na fundamentação teórica, as vincula com as argumentações para apoiar esse trabalho de pesquisa e verifica a sua aplicação após as conclusões.

Tema	Autores	Idéia dos autores	Aplicação neste Estudo	Conclusões
Manufatura de Classe Mundial	- Hayes e Wheelright (1985) - Hanson e Voss (1993) - Neto (2001)	As empresas de Classe mundial apresentam capacidades operacionais (custo, qualidade, flexibilidade e inovação) que as permitem atingir um nível de competitividade global	O programa Braskem+ como um meio de desenvolver na empresa do estudo as capacidades de custo e qualidade através de duas das sistemáticas de gestão da qualidade: o TPM e o Seis Sigma, respectivamente.	Após a implantação das sistemáticas do Seis Sigma (voltada a desenvolver as capacidades de qualidade) e do TPM (voltada a desenvolver as capacidades de custo) foi possível verificar a evolução no desempenho operacional da empresa em todas as três variáveis escolhidas, sendo que duas delas para o 1º quartil e outra para o 2º da indústria.
	- Ferdows e De Meyer (1990) - Filippini (1995)	O desempenho de uma empresa de classe mundial é aquele que a posiciona no primeiro quartil da indústria.	O desempenho operacional da Braskem será utilizado para comparar a empresa com as plantas de alta performance. O desempenho em termos de perdas físicas, taxa de utilização e eficiência operacional serão verificados antes e após a implantação do programa Braskem+.	
Indústria Petroquímica	- Guerra (1993)	A principal barreira à entrada utilizada por essa indústria é a escala de produção. Grandes escalas de produção introduzem instabilidade nos momentos de retração de demanda, resultando em margens apertadas. Os fatores de competitividade dessa indústria estão associados a redução de perdas físicas, uso do máximo da capacidade instalada (taxa de utilização) e eficiência energética.	As variáveis perdas físicas, taxa de utilização e eficiência energética, são utilizadas para medir o desempenho operacional da empresa objeto deste estudo	As três variáveis escolhidas para o estudo são as principais variáveis de competitividade da indústria petroquímica e após implantação das sistemáticas que desenvolvem as capacidades de qualidade (Seis Sigma) e custos (TPM) foi possível observar a melhoria das mesmas.
Sistema Toyota de Produção (STP)	- Shingo (1996) - Spear (2004)	O STP é estratégia potente de competitividade global dentro da indústria automobilística. Ele construiu as capacidades de flexibilidade, rapidez, qualidade e custos	A exemplo do STP, o Braskem+ visa construir as capacidades necessárias à Braskem atingir o nível de competitividade mundial dentro da indústria petroquímica.	Foi possível perceber através dos resultados obtidos com a implantação das sistemáticas do Braskem+ o desenvolvimento das capacidades de qualidade, através do Seis
	- Spear (2004)	O STP foi um dos principais fatores de desenvolvimento das		

		capacitações competitivas para a empresa. Isso possibilitou a empresa se posicionar entre as principais da sua indústria – atingindo o nível de classe mundial.		Sigma e de custo, através do TPM. Melhorando significativamente o desempenho operacional da empresa e melhorando o seu posicionamento na indústria.
Sistemáticas de Qualidade	- Reed, Lamek e Mero (2000) - Bornia (2002)	A aplicação atual das práticas de qualidade está focada no aumento da rentabilidade e da lucratividade. Ela está voltada para a eliminação de perdas e para a melhoria dos processos existentes.	A mensuração das variáveis do Seis Sigma tem por objetivo a aferição da eliminação das perdas e da melhoria dos processos na empresa do estudo. A mensuração das variáveis do TPM tem por objetivo a verificação do grau de utilização de equipamentos produtivos da referida empresa.	A implantação das duas sistemáticas permitiu uma evolução da performance operacional em termos das três variáveis escolhidas para o estudo.
Seis Sigma	- Au e Choi (1999) - Schiefer (1999) - De Feo (2000) - Pande et al (2001) - Rotondaro (2002)	Seis Sigma é uma prática voltada para a redução da variabilidade dos processos, que resulta na diminuição do nível de falhas e perdas, elevando o nível de qualidade.	O Seis Sigma é um dos elementos do programa Braskem. Os desempenhos em perdas físicas e eficiência energética deverão ser tratados como resultados da implantação do Seis Sigma na empresa do estudo.	As duas variáveis (perdas físicas e eficiência energética) evoluíram quando mensuradas em termos de desempenho operacional considerando-se antes e após a implantação do seis sigma. evoluíram para o 1º quartil quando comparadas com o desempenho das plantas de alta performance. Foi possível verificar a contribuição da implantação da sistemática do Seis Sigma na redução das perdas físicas e no aumento da eficiência energética. As melhorias foram significativas
	- Harry e Schröder (2000) - Eckes (2001)	Seis Sigma como uma sistemática de melhoria de desempenho de processos voltada para redução de sua variabilidade, o que leva ao aumento da qualidade.		
	- Breyfogle III (2003)	O nível de esforço para se evoluir de um nível sigma para outro, aumenta expressivamente. Por isso, nem todos os processos alcançam o nível Seis sigma.		
TPM	- Nakajima (1968) - Suzuki (1994) - Imai (2000)	O TPM (Total Productive Maintenance) é uma prática que visa	O TPM é outro elemento do programa Braskem+. O desempenho em taxa de utilização	A implantação do TPM permitiu a evolução do

	- Sharma et al (2006)	identificar e corrigir perdas relacionadas à eficiência dos equipamentos produtivos.	do equipamento produtivo deverá ser tratado como resultado da implementação do TPM na empresa do estudo.	desempenho da variável de taxa de utilização mesmo considerando o desempenho das plantas de alta performance, embora não posicionando a empresa entre as melhores da indústria. As melhorias obtidas em termos do aumento da taxa de utilização foi estatisticamente significativa.
<i>Benchmarking</i>	- Araújo (2001) - Pagliano (2003)	O <i>Benchmarking</i> utiliza as informações acumuladas por outras organizações para buscar as principais referências na indústria.	Os dados do <i>benchmarking</i> realizado para verificar o desempenho da Braskem em perdas físicas, taxa de utilização e eficiência energética serão utilizados para verificar se houve ou não evolução das capacidades operacionais da empresa após a implantação do programa Braskem+ (redução da distância em relação às melhores referências da indústria).	A comparação do desempenho operacional da empresa em termos das três variáveis com as plantas de alta performance antes e após a implantação das sistemáticas permitiu verificar a sua evolução positiva.

Quadro 17– Resumo das principais idéias dos autores, seu apoio ao trabalho de pesquisa e as conclusões encontradas no trabalho de pesquisa

Fonte: o autor

6.1 RECOMENDAÇÕES

Este projeto de pesquisa teve o seu recorte feito em duas das cinco sistemáticas da Qualidade Total que compõem o Sistema de Produção Braskem+. Também se limitou a analisar os dados referentes a uma das quatro Unidades de Negócio da empresa e utilizou-se de referências mundiais levantadas em 2002, para comparar a evolução das principais variáveis de eficiência industrial. Sendo assim, uma recomendação para trabalhos futuros seria a avaliação global do Braskem+ em toda a empresa, não se limitando apenas a duas das suas sistemáticas, mas a todo o sistema de produção, mantendo atualizada a base de comparação das referências mundiais.

Este trabalho limitou-se a analisar o Braskem+ sob a perspectiva exclusiva da performance industrial. Entretanto, sabe-se que os objetivos de um sistema de produção baseou-se também no aspecto cultural, ou seja na criação de uma cultura voltada a excelência das operações empresariais. Esse aspecto, portanto, pode ser objeto de estudos futuros.

A atualização dos dados de *benchmarking* com empresas de alta performance, também faz parte do conjunto de recomendações desta pesquisa. Dada a limitação de informações, a comparação com dos dados após implantação do Braskem+ se deu utilizando os mesmos do estudo realizado em 2003. Recomenda-se atualizar a comparação com um novo conjunto de dados de *benchmarking* a fim de ter uma melhor análise dos *gaps*, posto que não apenas a Braskem procurou, ao longo dos últimos 3 anos, melhorar os seus processos.

Por fim, recomenda-se que, no futuro, esses dados aqui apresentados possam ser revisitados, com o objetivo de analisar a sua sustentação e evolução. O Braskem+ é um sistema que ainda está em fase de implantação. A sua maturidade e estabilidade virão à medida em que a cultura organizacional for se consolidando ao longo dos próximos anos.

REFERÊNCIAS

- ABDOLNOUR, G., DUDEK, R.A., SMITH, M.L. *Effect of Maintenance Policies on the Just-in-Time Production System*. *International Journal of Production Research*. v. 33, n. 2, p. 565-583, 1995
- ANTONY, Fiju. *Some pros and cons of six sigma: an academic perspective*. *The TQM Magazine*, v. 16, n. 4 p. 303-306. 2002
- ARAÚJO, Luiz César. **Organização, sistemas e métodos e as modernas ferramentas de gestão organizacional**. São Paulo, Atlas: 2001
- AU, G. e CHOI, I. *Facilitating implementation of total quality management through information technology*. *Information and Management*. v.36, p.287-299, 1999.
- 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**. Texas: Quality Books, 2001
- CARRON, Rosinha da Silva Machado. **Reestruturação produtiva, processo de trabalho e qualificação na indústria petroquímica brasileira**. Tese (Doutorado em Administração). 1998. Escola de Administração da Universidade Federal do Rio Grand do Sul. Porto Alegre, 1998.
- CMAI, *Chemical Market Analysis Institute Report: Trends and historical data for Chemical and Petrochemical markets, Houston, TX, 2005*
- 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
- DE SANTANA, Lindaura M. et al. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/revista_brasileira_inovacao/terceira_edicao/lindaura.pdf>, **Capacitação Tecnológica e Produtividade na Petroquímica Brasileira nos anos 90: O caso de Camaçari-Ba**. Acesso em: de nov. de 2005
- Estratégia Tecnológica e a Industria Brasileira de Transformação de Polímeros Disponível em:** <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282001000300004>. Acesso em: 31 out 2005.
- DRUCKER, Peter. **People and Performance**. New York: Harper Collins, 1989
- 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

FERDOWS, K. e De Meyer, *A Lasting improvements in manufacturing performance: in search of a new theory*. **Journal of Operations Management**, v.9, p. 168-184, 1990

FILIPPINI, R, FORZA, C e VINELLI, A. *Compatibility and tradeoff between performance: a theory formulation and empirical evidence*. University of Twente, Enschede p. 136-145, 1995

FRENDALL, L.D, PATTERSON, J.W e KNEEDY, W.J. *Maintenance modeling its strategic impact*. *Journal of Managerial Issues*. V.9, n.4, p.440-448.

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

_____. **Estrutura de mercado e estratégias empresariais**. São Paulo: Ed. CNI – SESI/DN, 1995.

_____. **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

HANSON, P., VOSS, C. *Made in Britain: the true state of British manufacturing industry*, *British Accounting Review*, v.33, p. 23-45,1993.

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

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

HAYES, R.H. e PISANO, G.P. *Beyond world class: the new manufacturing strategy*. **Harvard Business Review**, v.72, p.77-84, 1994

HAYES, R. e WHEELWRIGHT, S. **Restoring our competitive edge: competing through manufacturing**. New York: John Wiley & Sons, 1985

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.

KANTER, Rosabeth Moss. **Classe Mundial: uma agenda para gerenciar os desafios globais em benefício das empresas e das comunidades**. Rio de Janeiro: Atlas, 1996.

KOTZE, D. *Consistency, accuracy lead to maximum OEE benefits*. **TPM newsletter**. V.4, n.2, 1993

NAKAJIMA, S. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. **International Journal of Operations & Production Management**. v.14, n.7, p. 44-52

- NETO, João Amato et al. **Manufatura classe mundial**: conceitos, estratégias e aplicações. São Paulo: Atlas, 2001.
- OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Trad. Cristina Schumacher. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.
- 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
- RAMOS, Alberto W. et al. **Diagnóstico do Sistema de Gestão Braskem+**. 2006. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006
- REED, R., LEMAK, D.J., MERO, N. P. **Total quality management and sustainable competitive advantage**. *Journal of quality management*. n 5, p 5-26, 2000.
- ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma**: estratégia gerencial para melhoria de processos, produtos e serviços. São Paulo: Atlas, 2002.
- SAKAGUCHI, Mitsuo. **Concepts of TPM parts I, II and III and Challenge requirements**. *Revista JIPM*, Tokyo, v.25, p. 9-12, out.2001.
- SCHAFFER, R.H., THOMSON, H.A. **Successful change programs begin with results**. *Harvard Business Review*. p 80-89, jan/fev 1992
- SCHIEFER, G. **ICT and quality management**. *Computers and electronics in Agriculture*, v.22, p.85-95, 1999.
- SCHONBERGER, R. **World Class Manufacturing: the lessons of simplicity applied**. *The Free Press, New York*, 1986.
- SHARMA, R. K, KUMAR, D. e PRADEEP, K. **Manufacturing Excellence through TPM implementation: a practical analysis**. *International Management & Data Systems*. V.106, n.2 p.256-280, 2006.
- SHINGO, Shingeo. **O sistema Toyota de Produção**: sob o ponto de vista da engenharia de produção. Trad. Eduardo Schaan. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.
- SHOOK, John. **People Development: The lean way, Lean Summit**, São Paulo: Bookman, 2006
- SKINNER, W. **Manufacturing missing link in corporate strategy**. *Harvard Business Review*. v.47, n.4, p.136-145, 1969.
- SKINNER, W. **The focused factory**. *Harvard Business Review*. v.52, n.3, p.113-122, 1974
- SPEAR, Steven J., Bowen, Kent. **Decodificando o DNA da Toyota**, *Harvard Business Review*, Setembro-Outubro 1999.
- SPEAR, Steven J. **Learning to lead at Toyota**, in *Harvard Business Review*. May, 2004.

SUZUKI, Masaei. *Implementation of project management based on QES and those issues in Japan industries and Kumagaigumi*. In: *International conference on implementation of quality and related systems*. Lisboa, 2000.

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

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

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

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

VOSS, C.A. *Alternative paradigms for manufacturing strategy*. *International Journal of Operations & Production Management*. v.15, n.4, p. 5-16.

VOSS, C, AHLSTRÖM, P e BLACKMON, K. *Benchmarking and operational performance: some empirical results*. *International Journal of Operations & Production Management*. v.17, n. 9/10, p. 146-158, 1997.

VOSS, C, ROTH, A. V, ROSENZWEIG, E.D, BLACKMON, K. e CHASE, R.B. *A tale of two countries: conservatism, service quality and feedback on customer satisfacion*. *Journal of Service Research*, v.6, n.3, p. 212-230