

1. CÓDIGO DE LA COMUNICACIÓN 194

2. TÍTULO COMPLETO

"Melhorias Operacionais em uma Petroquímica Brasileira: em que medida a empresa pratica processos produtivos de classe mundial?"

3. EJE TEMÁTICO

5.4 GIE - Gestão da Inovação nas Empresas: casos exitosos de inovação em grandes empresas.

4. AUTORES:

**UCHOA PASSOS, Francisco
Universidade Salvador (UNIFACS)
francisco.passos@unifacs.br
Brasil**

**ARAGÃO, Irlam
Braskem
irlam.aragao@braskem.com.br
Brasil**

Melhorias Operacionais em uma Petroquímica Brasileira: em que medida a empresa pratica processos produtivos de *classe mundial* ?

Este estudo 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 companhia, na qual investigaram-se os impactos sobre a eficiência operacional promovidos pelas ferramentas *Seis Sigma* e *TPM (Total Productive Maintenance)*, utilizadas no programa de melhorias. Foram escolhidos três indicadores considerados, pela literatura, de grande relevância para a competitividade do negócio de *commodities* na indústria petroquímica: as *perdas físicas de produtos*; a *eficiência energética da planta*; e a *taxa de utilização dos ativos*. Os referidos indicadores sofreram aferição, respectivamente, antes do programa "*Braskem+*" (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*". Este trabalho contribui para aferir os impactos e promover redirecionamentos em um vultoso programa corporativo, destinado a inserir uma petroquímica brasileira no mercado mundial.

Conclusão

Em se tratando da produção de *commodities* do ramo petroquímico, as inovações praticadas com maior frequência são aquelas de natureza incremental, voltadas para o aprimoramento contínuo dos processos. Tal aprimoramento visa, principalmente, os ganhos de produtividade, a fim de assegurar posições competitivas sustentáveis no mercado mundial.

Este estudo revela que a empresa estudada está a caminho de praticar processos produtivos *world class*, e aponta para a necessidade de reforçar algumas ações, particularmente aquelas conduzidas sob a ferramenta *TPM*.

Uma característica destacada do presente trabalho é que o mesmo registra uma exitosa aplicação, na indústria de processos contínuos, de ferramentas de inovações incrementais utilizadas tradicionalmente na indústria de produtos montados.

Melhorias Operacionais em uma Petroquímica Brasileira: em que medida a empresa pratica processos produtivos de *classe mundial* ?

Resumo

Este estudo procura avaliar em que medida o programa de melhorias incrementais “Braskem+” resultou na prática de processos produtivos típicos de petroquímicas de *classe mundial*. A verificação foi feita em uma planta industrial da companhia Braskem, na qual investigaram-se os impactos sobre a eficiência operacional promovidos pelas ferramentas *Seis Sigma* e *TPM* utilizadas no referido programa. Foram escolhidos três indicadores considerados, pela literatura, de grande relevância 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 sofreram aferição, respectivamente, antes do programa “Braskem+” (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 daquele padrão de desempenho. Este trabalho contribui para aferir os impactos de um vultoso programa corporativo e registra uma exitosa aplicação, na indústria de processos contínuos, de ferramentas de inovações incrementais utilizadas tradicionalmente na indústria de produtos montados. O estudo aponta que a empresa está a caminho de praticar processos produtivos *world class*, e destaca a necessidade de reforçar algumas ações, particularmente aquelas conduzidas sob a ferramenta *TPM*.

1. Introdução

A Braskem - maior empresa petroquímica brasileira - foi originada a partir de um processo de fusão de seis empresas instaladas nos pólos petroquímicos de Camaçari (Bahia) e Triunfo (Rio Grande do sul), e no pólo alcoolquímico de Alagoas, em meados de 2002. Tal fusão resultou na posse de ativos industriais de empresas da primeira geração da petroquímica (produção de insumos básicos), bem como da segunda geração (produção de resinas termoplásticas), cujo objetivo central foi o de constituir uma companhia verticalizada, de grande porte, para competir globalmente. Esse movimento representou, para a indústria petroquímica nacional, a oportunidade de inserir-se na competição em nível mundial. Para tanto, a Braskem colocou-se diante do desafio de converter-se em uma empresa de *classe mundial* (*world class company*), tendo, portanto, que desenvolver capacitações específicas para o aprimoramento em custos, qualidade e inovação, de forma a obter vantagens diante de seus competidores globais.

As empresas que formaram a atual Braskem foram implantadas no Brasil entre as décadas de 1970 e 1980, seguindo o modelo de aprendizagem tecnológica vigente

naquele momento no país - o da chamada “caixa preta” - com foco no cumprimento dos padrões estritos dos projetistas, e praticamente sem espaço para melhorias operacionais. Ao longo da década de 1990, boa parte das empresas brasileiras teve que se adaptar ao processo de abertura comercial para o exterior, reestruturando-se para tornarem-se mais competitivas no mercado global. Uma das características da reestruturação operacional ocorrida naquela ocasião foi a adoção de ferramentas da gestão da qualidade total. Embora tais ferramentas sejam dirigidas prioritariamente à indústria de produtos montados, algumas petroquímicas aderiram àquele esforço.

Após a sua constituição, a Braskem passou a promover aprimoramentos consistentes no sistema produtivo de suas plantas, desenvolvendo esforços para aproximar-se das chamadas empresas de *classe mundial* do setor de *commodities*. O conjunto desses esforços teve como focos a diminuição do desperdício de insumos e a ocupação máxima dos equipamentos.

Para dar seguimento e estruturação a essas intenções, a Braskem adotou, a partir de 2004, um programa de melhorias que passou a ser conhecido internamente como “*Braskem+*”, o qual utiliza ferramentas desenvolvidas pela gestão da Qualidade Total, dentre as quais destacam-se o *Seis Sigma* e o *TPM (Total Productive Maintenance)*. O *Seis Sigma*, conhecida ferramenta para redução intensiva e sistemática da variabilidade de processos (ECKES, 2001), passou a ser empregado na promoção de reduções sucessivas de perdas de insumos físicos/energéticos. Por seu turno, o *TPM*, ferramenta destinada a elevar a disponibilidade dos equipamentos produtivos por intermédio da redução de falhas e quebras dos mesmos (SUZUKI, 1994), passou a ser adotado para aumentar a taxa de utilização dos ativos produtivos da companhia.

A Braskem apoiou-se na crença de que a implantação disciplinada do referido programa de melhorias, o qual se inspira no conhecido Sistema de Produção Toyota (SPT), possibilitaria o alcance de duas grandes metas:

- i) Homogeneizar, de modo geral e a longo prazo, o processo de aprendizagem das empresas que a formaram, sobretudo no que diz respeito a práticas de gestão da produção; e
- ii) Atacar, de modo específico e imediato, os principais focos de perda de competitividade da produção petroquímica, quais sejam, as perdas físicas, a baixa eficiência energética e a baixa utilização dos ativos.

O presente trabalho tenciona investigar até que ponto a Braskem começa a obter êxito na consecução da meta ii acima referida - a do combate específico e imediato aos focos de perda de competitividade. Isto equivale a dizer que este estudo tenciona revelar até que ponto a empresa vem praticando processos produtivos típicos das *world class companies* do setor de *commodities*. A verificação foi feita em uma das plantas industriais de primeira geração da Braskem, sendo a questão de pesquisa desmembrada em duas perguntas que este artigo tenta responder:

- Em que medida houve melhorias expressas, respectivamente, como reduções nas perdas físicas de insumos, aumento da eficiência energética e aumento da taxa de utilização dos ativos?

- Com relação às referidas melhorias, como se posiciona a Braskem em comparação com empresas de *classe mundial*?

Um programa de melhorias com a magnitude e escopo do “*Braskem+*” envolve um montante de recursos materiais e humanos particularmente grande e, portanto, mensurar seus resultados faz-se oportuno. Outro aspecto que justifica a realização deste estudo é o fato de que se trata de uma intervenção em uma empresa petroquímica, utilizando, porém, ferramentas de gestão características da indústria de produtos montados, representando, assim, a oportunidade de abrir um caminho para a discussão de uma aplicação diferenciada do modelo originalmente desenvolvido pela Toyota.

O presente texto está composto por esta seção introdutória, seguida por mais cinco seções. A seção 2 apresenta elementos da fundamentação teórica para o emprego das ferramentas de Qualidade Total utilizadas neste estudo de caso. A seção 3 descreve a parte do programa “*Braskem +*” de interesse para a investigação, e sua aplicação na planta estudada. Na seção 4 encontram-se os critérios metodológicos utilizados para o estudo. A seção 5 traz os resultados encontrados e, por fim, as considerações finais são apresentadas na seção 6 do trabalho.

2. Breve Aporte Teórico

Para dar sustentação teórica ao emprego de ferramentas de Qualidade Total na Braskem, três argumentos foram, de antemão, considerados: (a) a indústria petroquímica, por produzir *commodities*, carece de processos produtivos eficientes para reforçar sua posição competitiva; (b) o Sistema de Produção Toyota, embora originariamente dirigido à indústria de produtos montados, apresenta convergência com o interesse da indústria petroquímica, em particular no que se refere aos esforços para a redução de desperdícios; e (c) as ferramentas *Seis Sigma* e *TPM*, descritas no corpo de conhecimentos da Gestão da Qualidade Total, encontram aplicação na indústria petroquímica.

A Indústria Petroquímica e o esforço por eficiência

Como nos outros ramos de negócio, o cenário mundial da indústria petroquímica veio se modificando ao longo dos últimos anos. Os indicadores de tendência dessa indústria, conforme comentado por Guerra (1993), apontam para ameaças, tais como: a consolidação dos grandes grupos petroquímicos; a propensão de queda dos preços; e a necessidade crescente de adequada gestão do desempenho operacional como um imperativo para a sobrevivência. Mas os indicadores apontam, também, para oportunidades, dentre elas: o aumento do uso do plástico (embora sob restrições ambientais) como substituto dos produtos tradicionais, principalmente nas indústrias de embalagens e automobilística; e a expansão do setor das indústrias de processamento. Todos esses indícios incluem a indústria petroquímica no conjunto daquelas que precisam praticar a chamada manufatura de *classe mundial*, caracterizada por processos de elevada eficiência.

A indústria petroquímica está localizada estrategicamente nas cadeias produtivas da economia, pelo fato de gerar insumos básicos e materiais para, praticamente, toda a estrutura de produção. A cadeia petroquímica se inicia com o refino do petróleo, que gera, dentre outros produtos, a nafta e o gás natural. Estes primeiros materiais são, então, utilizados pelas “centrais petroquímicas” – que constituem a chamada “indústria de primeira geração da cadeia petroquímica” - onde são transformados em insumos básicos (eteno, propeno e para-xileno), os quais são, por sua vez, processados nas empresas da chamada “indústria de segunda geração da cadeia petroquímica”. As empresas da indústria de segunda geração transformam aqueles insumos básicos em resinas termoplásticas, tais como, polietileno, polipropileno, policloreto de vinila (PVC) e polietileno tereftalato (PET). Estas resinas são, finalmente, processadas pelas empresas da “indústria de terceira geração da cadeia petroquímica”, também conhecidas como “transformadoras de plástico”, que produzem produtos utilizados, pelo mercado, nas mais variadas aplicações: sacos, sacolas, tubos e conexões, materiais para construção, componentes para outras indústrias, garrafas, embalagens, brinquedos, aplicações em medicina e saúde, e muitas outras.

Uma das principais características identificadoras da indústria petroquímica é a grande escala de suas unidades produtivas. Em razão disto, oscilações do mercado podem introduzir fortes instabilidades, especialmente em épocas de retração de demanda (GUERRA, 1993). Nesses momentos, a alternativa que se apresenta é a busca por novos mercados para a alocação do excedente de produção, em óbvia situação de desvantagem para a oferta. Então, cortes de preços e os consequentes estreitamentos de margens são inevitáveis. Configura-se, assim, uma ocasião em que a indústria petroquímica depende fortemente do esforço por ganhos de eficiência.

Outra característica da indústria petroquímica é que, pela própria tecnologia dos processos, os aumentos de capacidade de suas unidades produtivas são realizados em grandes incrementos, que ocorrem à frente da demanda, resultando em períodos (previstos) de ociosidade. Esta estratégia de expansão explica, em parte, a preocupação da indústria petroquímica com a questão da ocupação do equipamento produtivo.

Em face das referidas peculiaridades, diversas estratégias de negócio têm sido empregadas pelas empresas da indústria petroquímica (GUERRA, 1993; CARRON, 1998; D'ÁVILA, 2002). Dentre essas estratégias, citam-se:

- a) Redirecionar os investimentos para especialidades;
- b) Transferir as áreas de produção de petroquímicos tradicionais para países recém-industrializados, gerando associações com produtores locais;
- c) Formar alianças estratégicas com o objetivo de aproveitar competências em tecnologia e mercado;
- d) Realizar fusões e incorporações, normalmente verticalizando o negócio, com o objetivo de tornar sua estrutura produtiva mais eficiente; e
- e) Diversificar a linha de produtos, principalmente a da segunda geração, através de novos *grades* de resina e/ou *blends* voltados para aplicações definidas pelo

mercado. (Esta última estratégia é uma tentativa de afastar-se da linha de *commodities* e agregar maior valor aos produtos)

Todavia, em maior ou menor grau, a implementação de qualquer uma das estratégias acima referidas implica na necessidade de 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 (produção de insumos básicos), o acesso e o preço de sua matéria-prima (nafta e gás natural) são elementos de grande importância para a viabilidade do negócio, uma vez que estes materiais respondem por cerca de 80% dos custos variáveis daquelas empresas. Como consequência desta particularidade do processo produtivo, o aumento da eficiência energética e a redução das perdas físicas despontam como fatores primordiais para a garantia 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 unitários, na medida do possível, menos dependentes 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 demanda.

Desse modo, pelas razões aqui comentadas, justifica-se o esforço por eficiência na indústria petroquímica. Dentre os fatores críticos para o bom desempenho operacional das empresas daquela indústria destacam-se: a redução de perdas físicas de produtos; o aumento da eficiência energética da planta; e a utilização máxima da capacidade dos ativos (D’ÁVILA, 2002).

Não é novidade que esses fatores de desempenho operacional são comuns às empresas de *classe mundial* do ramo de *commodities* (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*”.

O Sistema Toyota de Produção e o esforço por redução de desperdícios

O chamado “Sistema de Toyota de Produção” (STP) tem-se apresentado, ao longo dos últimos anos, como referência para as estratégias 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 japonesa, a fim de que aquela empresa pudesse responder com rapidez e flexibilidade às diversas formas de flutuações de demanda do mercado. Um ponto, porém, era inquestionável: a resposta ao mercado teria que ser dada a *custo mínimo e com qualidade consistente*. Esta condição é atendida, pelo STP, por

via de diversas e criativas modalidades de redução de desperdícios. (SHINGO, 1996).

Para Abdolnour, Dudek e Smith (1995), o STP teria sido construído a partir do uso simultâneo de um modelo geral de produção e de uma aplicação empírica do modelo, por via de uma lógica de “tentativa e erro”. A partir do desenvolvimento do STP, foram consolidados alguns conjuntos de princípios hoje hegemônicos no campo da produção de produtos montados em massa, tais como o Controle da Qualidade Total e a Teoria das Restrições (SPEAR, 2004).

Sob a perspectiva de aplicação nas operações, o principal objetivo do STP recai sobre a eliminação de “custos desnecessários” ao sistema produtivo. Para isso, o STP apóia-se na identificação e priorização de melhorias na função de produção, por intermédio, principalmente, da eliminação contínua e sistemática das perdas (“*muda*”) existentes no sistema produtivo.

Evidenciando sua confiança na capacidade de reduzir desperdícios, o STP parte 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. Dessa maneira, a única forma de aumentar o lucro consiste em reduzir os custos. Consequentemente, a atividade de redução de custos deve ter a maior prioridade dentro da empresa. De acordo com a referida visão, qualquer empresa poderia fazer esforços para eliminar perdas, porém, enquanto operasse adicionando, arbitrariamente, o lucro ao custo do produto para definir o seu preço, seus esforços seriam pouco frutíferos. Apenas quando a empresa mudasse a lógica do cálculo da margem de lucro - como fez a Toyota - é que haveria motivação real para eliminar sistematicamente todas as formas de desperdício (OHNO, 1997).

Comungando nas mesmas idéias, Imai (1996) considera que o passo inicial para realizar uma melhoria de processo seria identificar, de forma sistemática, as fontes de desperdícios. A premissa do autor é que cada estágio do processo deve acrescentar *apenas* valor ao produto, antes de enviá-lo ao próximo estágio. Desperdícios, neste caso, referem-se a quaisquer atividades que não adicionam valor ao produto.

No que pesem as enormes diferenças entre as tecnologias de processo da indústria de produtos montados em massa e da indústria de processos contínuos, algumas ferramentas para redução de desperdícios e aumento de eficiência adotadas com sucesso na primeira encontram aplicação nesta última, como são os casos do *Seis Sigma* e do *TPM*.

A Ferramenta “Seis Sigma”

Desde que foi aplicada pela Motorola nos anos 80, a idéia de processo com variabilidade extremamente reduzida e baixíssima probabilidade de produzir “falhas” (itens/parâmetros fora de especificação) se difundiu como proposta de um novo padrão para processos produtivos repetitivos. Essa ideia pode ser viabilizada pela ferramenta conhecida por “*Seis Sigma*”, que concentra esforços na redução de variabilidade e no monitoramento dos resultados. O *Seis Sigma* apresenta a mesma

lógica do tradicional Controle Estatístico de Processos (CEP), com a diferença de que, no primeiro, a variabilidade está severamente restrita, a ponto de a faixa de tolerância especificada para o item/parâmetro conter, no mínimo, 12 (doze) desvios padrão da distribuição dos valores medidos. Convém lembrar que, no caso do CEP, a faixa de tolerância especificada contém apenas 6 (seis) desvios padrão da distribuição. Desse modo, os processos sob controle *Seis Sigma* têm variabilidade tão pequena (desvios padrão, σ , tão pequenos) que praticamente não produzem resultados fora dos limites especificados. O *Seis Sigma* difere, ainda, do CEP tradicional porque, além dos componentes técnicos de controle, aquela ferramenta atribui forte ênfase a componentes de gestão e de motivação de pessoas para o grande esforço de redução de variabilidade (AU e CHOI, 1999; SHIEFER, 1999; DeFEO, 2000).

Partindo-se da premissa de que a faixa de tolerância especificada para um processo foi previamente definida, para ter-se “mais sigmas” no interior da faixa, a única saída é reduzir o tamanho do desvio padrão (BREYFOGLE, III, 2003). Como o desvio padrão é uma medida de variabilidade do processo, a conclusão lógica é que o objetivo central da ferramenta *Seis Sigma* é o de reduzir as variações nos parâmetros do processo.

Breyfogle III (2003) chama, ainda, a atenção para o fato de que, em função do grande esforço necessário para se evoluir de um nível sigma para outro num determinado processo, nem todos os processos da empresa aprimorados pela ferramenta alcançarão o nível *Seis Sigma*. Mais ainda: nem todo processo requer, necessariamente, um “desempenho 6σ ”. O que contaria como mais relevante seria o esforço permanentemente voltado para a redução da variabilidade dos processos.

A ferramenta *Seis Sigma* encontrou oportuna aplicação no acompanhamento e controle de perdas de eteno na planta deste estudo. A taxa de produção de vapor em relação ao combustível queimado (eficiência energética) também foi aprimorada, na planta, com o uso da Ferramenta *Seis Sigma*.

A Ferramenta “TPM”

Adotado inicialmente em empresas japonesas, como a Toyota, Nissan e Mazda, o *TPM* (*Total Productive Maintenance*, ou seja, Manutenção Produtiva Total) rapidamente passou a ser praticado em várias outras empresas globais, como Dupont e Exxon, na forma de mecanismo para ganhos de produtividade nas operações (SAKAGUCHI, 2001).

O *TPM* foi definido pelo JIPE (*Japan Institute of Plant Engineers*) como uma política de manutenção, baseada no trabalho em equipe, e moldada para maximizar a efetividade do equipamento produtivo durante todo o seu ciclo de vida (SHARMA et alli, 2006). O *TPM* tem raízes nas práticas do movimento pela Qualidade Total, onde é identificado com o objetivo principal de proporcionar alta disponibilidade operacional aos ativos de empresas intensivas em manutenção de equipamentos. Nakajima (1968) vê o *TPM* como um instrumento para aumentar a taxa de utilização dos ativos, por meio da redução do número de falhas dos equipamentos.

De acordo com a perspectiva do TPM, de Imai (2000) conclui que as fábricas lucrativas não necessariamente possuíam os equipamentos mais novos. Assim, as mais antigas, se bem geridas, poderiam, eventualmente, agregar maior valor aos acionistas, uma vez que não pagam encargos de juros e amortizações. Desse modo, muitas reduções de custos de processamento teriam sido obtidas por inovações que procuravam explorar ao máximo as formas de utilização dos ativos existentes (TAKAHASHI e OSADA, 1993).

Segundo autores como Takahashi e Osada (1993), Kotze (1993) e Frendall et al (1997), para investigar a eficiência dos ativos produtivos é necessário não perder de vista que o nível de utilização da sua capacidade deve ser compatível com os índices de qualidade dos produtos gerados. Em outras palavras, o rendimento global de um equipamento deve ser estimado a partir do compromisso entre a taxa de utilização e a taxa de produtos gerados conforme a especificação.

Tendo sido oriundo do movimento pela Qualidade Total, o *TPM* não desconsidera a questão comportamental, incorporando a idéia de que sua implementação se faz a partir do compromisso do operador com a máxima utilização do equipamento.

A ferramenta *TPM* tem grande relevância no programa “*Braskem +*”, onde é empregada para aumentar a taxa de utilização dos ativos das plantas.

3. A Companhia, o Programa “*Braskem +*” e a Planta Investigada

A Braskem (*holding*) é uma companhia com matriz situada em São Paulo e 22 plantas industriais nos estados do Rio Grande do Sul, Bahia, Alagoas e São Paulo. Com aproximadamente 3.500 funcionários diretos e 7.000 indiretos, está dividida em 4 unidades de negócio e 6 centros corporativos, apresentando faturamento anual da ordem de seis bilhões de dólares. Seus processos produtivos reúnem a primeira e a segunda gerações do ciclo produtivo petroquímico. A Braskem apresenta as características típicas das empresas do seu setor, ou seja:

- Intensiva em capital, em razão da natureza da sua tecnologia de produção;
- Recursos humanos especializados e pouco numerosos, em razão da automação;
- Matérias primas e energia representando, conjuntamente, cerca de 90% dos custos totais de produção;
- Fortemente dependente de um fornecedor principal de matéria-prima – com destaque para a nafta fornecida pelas refinarias da Petrobrás;
- Dependente do desempenho de indicadores técnicos da operação;
- Dependente da confiabilidade de equipamentos;
- Dependente da utilização plena da capacidade, como estratégia para diluição dos custos fixos.

O Programa “*Braskem +*”, implantado em toda a corporação, tem cinco elementos básicos: (1) *Gestão do Ambiente Físico*, que enfatiza as questões de disciplina e limpeza do ambiente de trabalho, bem como os aspectos de segurança de pessoas e de impactos ambientais; (2) *Gestão do Conhecimento e da Tecnologia de Processos*, que visa preservar e ampliar a base de conhecimentos em tecnologia de processos produtivos; (3) *Gestão dos Requisitos de Processo*, para monitorar o cumprimento do

conjunto de requisitos legais, normativos e voluntários assumidos pela empresa; (4) *Melhorias Contínuas*, para a redução de variabilidade de processos, com foco na redução/eliminação de perdas físicas de materiais de processo e de insumos energéticos, tendo como instrumento a ferramenta *Seis Sigma*; e (5) *Gestão de Ativos e de Equipamentos*, visando promover a redução/eliminação de falhas em equipamentos produtivos, a fim de maximizar a sua taxa de utilização, com base na ferramenta *TPM*.

Em razão das limitações de tempo e de recursos, não foi possível investigar, na ocasião desta pesquisa, todo o Programa “*Braskem +*” (todos os seus cinco elementos), no conjunto total das plantas da companhia no país. Foram investigados somente dois elementos, em apenas uma das plantas. Entretanto, considera-se que a presente investigação obteve razoável representatividade para responder à questão central da pesquisa, qual seja, saber até que ponto a Braskem vem praticando processos produtivos típicos das empresas de *classe mundial* do setor de *commodities*. Justifica-se esta convicção, em primeiro lugar, porque o objeto escolhido foi uma das mais importantes plantas da Braskem, no caso a central petroquímica de insumos básicos (primeira geração) localizada no Pólo de Camaçari/Bahia. Em segundo lugar, os dois elementos do Programa “*Braskem +*” pesquisados foram os elementos 4 e 5 acima referidos (*Melhorias Contínuas* e *Gestão de Ativos/Equipamentos*), aqueles mais diretamente relacionados com o problema da redução de custos operacionais em empresas do ramo de *commodities*.

O Quadro 1, abaixo, mostra a síntese dos esforços empreendidos para a consecução do programa “*Braskem+*” na planta investigada, expressos (a) na quantidade de projetos de melhoria desenvolvidos e (b) nas respectivas cargas (horas) de trabalho humano, distribuídas nas ferramentas *Seis Sigma* e *TPM*. As técnicas para as intervenções de melhorias dos projetos são as mais diversificadas, não cabendo, neste trabalho, descrevê-las.

Indicador	Ferramenta	Esforço	
		Quantidade de Projetos	Horas trabalho
Perdas Físicas	<i>Seis Sigma</i>	32	17.410
Eficiência Energética	<i>Seis Sigma</i>	43	4.608
Utilização do Ativo	<i>TPM</i>	40	27.530

Quadro 1. Esforços empreendidos pelo *Braskem+* - Planta de Camaçari (Fonte: os autores)

4. Metodologia

Apresentam-se, nesta seção, os critérios metodológicos empregados nos dois grupos de verificações realizadas na planta da Braskem em Camaçari: (a) melhorias no desempenho operacional; e (b) comparações com empresas de *classe mundial* de referência.

Indicadores de Desempenho Operacional

Três indicadores foram utilizados para aferir o desempenho operacional da planta, respectivamente, antes do programa *Braskem+* (período de 2002 a 2004) e após a implementação do referido programa (período de 2005 a 2007):

- perdas físicas de eteno (em toneladas/mês), tendo, como referência, o valor máximo de 25 ton/mês;
- eficiência energética (em toneladas de vapor produzido diariamente/toneladas de combustível utilizado), tendo, como referência, o valor mínimo de 91% do padrão do fabricante do equipamento; e
- taxa de utilização do ativo (em % toneladas de eteno efetivamente processado por mês/capacidade máxima do equipamento em toneladas), tendo, como referência, o valor mínimo de 92%.

Os dados dos indicadores de desempenho operacional foram obtidos diretamente da base de dados de controle operacional da planta, contida no seu Sistema Digital de Controle à Distância (SDCD). Esses dados foram exportados automaticamente para o *software* de tratamento estatístico Minitab versão 15, que os apresenta na forma de distribuição de frequências, e calcula, para cada indicador, medidas de centralização (média) e de dispersão (desvio padrão). Isto permite os ajustes para a conversão, pelo *software*, da distribuição dos dados do indicador em uma distribuição normal típica. Assim, o *software* calcula, também, medidas de capacidade (Cpk) da distribuição, a partir dos limites especificados para o indicador. Isto permite conhecer, para cada indicador, as frações (em ppm) da distribuição que se encontram, respectivamente, dentro e fora dos limites especificados. Estas informações permitiram constatar diferenças entre os conjuntos de valores de cada indicador, antes e depois do programa “*Braskem +*”. Observe-se, na seção 5, que os dados de utilização do ativo (resultantes da ferramenta *TPM*) foram apresentados, pelo Minitab, com a mesma formatação dos dados dos outros dois indicadores (resultantes da ferramenta *Seis Sigma*).

O *Box-Plot* elaborado pelo Minitab foi apresentado para evidenciar, graficamente, as referidas diferenças, por intermédio do posicionamento da média e dispersão de cada indicador, antes e depois do programa “*Braskem +*”. Por fim, aquelas diferenças foram adicionalmente testadas quanto à sua significância estatística, por intermédio do teste t de Student, para $p < 0,05$ (95% de certeza).

Comparações com Empresas World Class

Um *benchmarking* realizado para a Braskem, em 2003, pela consultoria *Solomon Associates* comparou aquela petroquímica com as chamadas “*world class companies*” do setor. Como parte do referido trabalho, foram feitas comparações da planta estudada com as plantas de “*classe mundial*”, para os três indicadores de desempenho operacional. Para tanto foram utilizadas as médias dos dados do ano de 2002, antes, portanto, do programa “*Braskem +*”.

O presente estudo fez novamente, em 2008, o levantamento dos valores médios dos referidos indicadores para o ano de 2007 (após o programa “*Braskem +*”), com o

objetivo de compará-los, mais uma vez, com os indicadores das plantas de “classe mundial”.

Os dois grupos de dados (respectivamente, antes e depois do “*Braskem +*”) foram tabulados e apresentados de forma a permitir verificar a evolução dos mesmos, em comparação com as empresas petroquímicas consideradas como “*world class*”.

5. Resultados

Os resultados do presente estudo estão, a seguir, apresentados de maneira a dar resposta às duas questões de pesquisa colocadas na seção introdutória deste trabalho.

Melhorias do Desempenho Operacional

Perdas Físicas de Eteno

Registrou-se que o volume médio de perdas de eteno caiu de 119,2 ton/mês (0,11% da produção mensal), antes do programa, para 5,04 ton/mês (apenas 0,005% da produção mensal), após o programa. O desvio padrão, que é uma medida da variabilidade das perdas, também foi reduzido de 92,0 ton/mês para 5,63 ton/mês. Antes do programa “*Braskem +*”, 95% das perdas de eteno estavam acima do limite especificado de 25 ton/mês. Após o programa, praticamente não havia perdas acima do referido limite.

O *Box-Plot* da Figura 1 confirma, graficamente, estes valores. Estas melhorias foram alcançadas com o uso da Ferramenta *Seis Sigma*, em 32 projetos de aprimoramentos.

O teste de significância estatística para a diferença entre os dois conjuntos de dados correspondentes, respectivamente, aos períodos antes e após os projetos de melhorias das perdas de eteno demonstra, com 95% de certeza ($p=0,000 < 0,05$) que se pode rejeitar a hipótese de que os dois conjuntos de dados pertençam a uma mesma população (Figura 2). Isto é, há diferença significativa entre as perdas de eteno antes e após o programa “*Braskem +*” na planta investigada.



Figura 1. *Box-Plot* perdas eteno, antes e após *Braskem +*

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 2. Teste t de Student – diferenças perdas eteno

Eficiência Energética

Observou-se que a eficiência energética média da planta aumentou de 90,36% (antes do programa) para 93,19% (após o programa). O desvio padrão, que mede a variabilidade da eficiência energética ao longo da operação, foi reduzido de 0,978 para 0,284, indicando que além do deslocamento da média houve redução da dispersão dos valores. Antes do programa “*Braskem+*”, 68% dos valores de eficiência energética computados estavam abaixo do limite especificado de 91%. Após o programa, praticamente não se encontram valores abaixo do referido limite.

O *Box-Plot* da Figura 3 ilustra, graficamente, esta melhoria promovida com o auxílio da Ferramenta *Seis Sigma*, e viabilizada por meio de 43 projetos de aprimoramentos.

O teste de significância estatística para a diferença entre os dois conjuntos de dados correspondentes, respectivamente, aos períodos antes e após as melhorias promovidas na eficiência energética da planta demonstra, com 95% de certeza ($p=0,000 < 0,05$) que se pode rejeitar a hipótese de que os dois conjuntos de dados pertençam a uma mesma população. É possível afirmar, então, que há diferença significativa entre a eficiência energética antes e após o programa “*Braskem +*” na planta investigada (Figura 4).

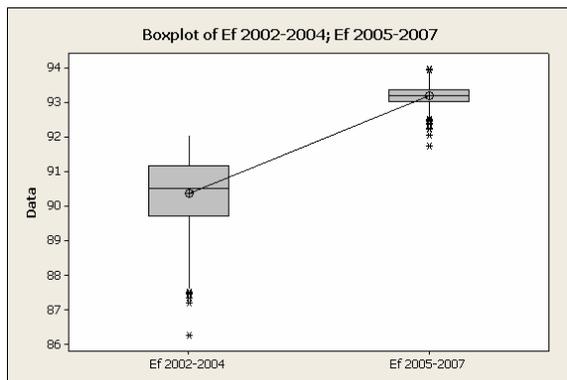


Figura 3. *Box-Plot* eficiência, antes e após *Braskem+*

	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 4. Teste t de Student - diferenças eficiência energética

Taxa de Utilização do Ativo

Foi registrado que a utilização média do ativo na planta investigada apresentou melhoria, aumentando de 81,90% (antes do programa) para 90,43% (após o programa). A variabilidade daquele indicador também melhorou, refletida no desvio padrão dos valores, o qual foi reduzido de 14,00 para 5,17.

O *Box-Plot* (Figura 5) ilustra, graficamente, a melhoria promovida com o emprego da Ferramenta *TPM* em 40 projetos.

Observe-se, entretanto, que com relação ao indicador *taxa de utilização do ativo*, o programa “*Braskem+*” da planta investigada ainda não atingiu a meta (*target*) de 92%

Perdas Físicas	0,02% (max.)	0,004%	0,11%	0,106%	3º Quartil	0,005%	0,001%	1º Quartil
Eficiência Energética	93% (min.)	96%	90,36%	5,63%	3º Quartil	93,19%	2,81%	1º Quartil
Utilização do Ativo	95% (min.)	97,2%	81,90%	15,30%	3º Quartil	90,43%	6,80%	2º Quartil

Quadro 2. Evolução do desempenho da planta com o *Braskem+* e comparações com empresas de *classe mundial*

6. Considerações Finais

Entende-se que, ao dar resposta às duas questões de pesquisa formuladas, este trabalho oferece subsídios para as avaliações dos resultados do programa “*Braskem+*” na planta investigada. Tal contribuição é relevante, na medida em que o programa vem despendendo esforços humanos e vultosos recursos financeiros, ao longo dos três últimos anos, em 115 projetos de melhorias operacionais da referida planta, o que valoriza as informações de retroalimentação que orientarão os ajustes e redirecionamentos do programa.

De modo geral, pode-se afirmar que a empresa vem-se aproximando das práticas típicas das petroquímicas de *classe mundial*, mesmo levando-se em conta que o *benchmarking* após o programa de melhorias foi feito em 2008, a partir do desempenho “*world class*” de 2003. Como tais referências constituem verdadeiros “alvos móveis”, pois evoluem no tempo, alguma ressalva deve ser feita à afirmação de proximidade da Braskem com empresas de classe mundial. É claro, também, que fatores exógenos - ora identificados, ora desconhecidos - intervêm nos resultados do programa de melhorias, dificultando a avaliação da relação esforço-resultado. Uma outra limitação deste estudo decorre da utilização de uma única unidade de produção, o que pode fragilizar as tentativas de extrapolações das conclusões para o restante da corporação. Por fim, sabe-se que fatores relacionados a aspectos comportamentais e de cultura organizacional têm forte influência sobre os resultados de programas de melhorias, e aqueles fatores estiveram fora do escopo do estudo.

Por outro lado, o presente trabalho registra resultados de aplicação, na indústria de processo contínuo, de ferramentas de melhorias incrementais típicas da fabricação de produtos montados, o que configura uma contribuição com certo grau de ineditismo ao conhecimento na área.

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

AU, G. e CHOI, I. *Facilitating implementation of total quality management through information technology. Information and Management.* v.36, p.287-299, 1999.

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

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

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.

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. 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 13 de novembro de 2005

ECCLES, R. G. *The performance manifesto*. *Harvard Business Review*, v.69, n.1, p.131-137, 1991.

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

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, 1997

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

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

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.

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

LIEDKE, Elida Rubini; GARAY, Ângela Beatriz Scheffer. *Reestruturação produtiva, organização e gestão do trabalho na indústria petroquímica*. In: Relatório ao CEDES / FINEP / PCDT / CNPq. Projeto reestruturação produtiva e qualificação. Programa de pesquisa em ciência e tecnologia, qualificação e produção. Campinas: Unicamp, 1996.

NAKAJIMA, S. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. International Journal of Operations & Production Management. v.14, n.7, p. 44-52, 1968

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

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

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.

SPEAR, Steven J., Bowen, Kent. *Decodificando o DNA da Toyota*, in: 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.