



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

O USO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA NA REDUÇÃO DO DESPERDÍCIO NO PROCESSO DE CARBONATAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO
POR
HUGO MIRANDA PORTELA**

Orientador: PROFA. DENISE DUMKE DE MEDEIROS, DOCTEUR

RECIFE, DEZEMBRO / 2010

P843u

Portela, Hugo Miranda.

O uso da metodologia seis sigma na redução do desperdício no processo de carbonatação de uma indústria de refrigerantes / Hugo Mirtanda Portela . - Recife: O Autor, 2010.

vi, 27 folhas, il : grafs., tabs., figs.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Curso de Graduação em Engenharia de Produção, 2010.

Orientadora: Profª Denise Dumke de Medeiros , Dra.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia de Produção. 2. Seis Sigma. 3. Six Sigma . 4. DMAIC.
I. Medeiros, Denise Dumke (Orientadora) II. Título.

UFPE

658.5

CDD (22. ed.)

BCTG/2010-250

AGRADECIMENTOS

À professora Denise Dumke, pelas suas orientações.

Aos professores do curso de Engenharia de Produção, pelos conhecimentos e aprendizados proporcionados.

Ao Engenheiro José Rúbio e à família Lôbo, pelos ensinamentos introdutórios e orientação.

Aos Engenheiros Bruno Filizola, Paulo Ventura, Thiago Andrade e à Katherine Novaes, pelos ensinamentos, orientação e assistência.

À minha família, em especial a minha mãe, meu pai, minha irmã e minha avó, que me apoiaram em todos os momentos.

Aos amigos que fiz na faculdade, que tornaram todos esses anos mais curtos.

À Instituição, pelo ensino e disponibilidade do ambiente.

RESUMO

O Seis Sigma foi criado, e desenvolvido na Motorola e visa diminuir a variabilidade e aumentar a qualidade dos processos. Nas últimas décadas do século XX este tema ficou em evidência devido aos altos ganhos financeiros que algumas empresas obtiveram através de projetos Seis Sigma implementados. Os bons resultados financeiros junto à maior confiabilidade dos processos se tornam uma vantagem competitiva no cenário de competitividade que as empresas se encontram. Para a implementação do Seis Sigma, é necessário o desenvolvimento de diversas ferramentas e técnicas, além de conscientização e treinamento dos funcionários da organização, pois todos precisam estar envolvidos neste processo. O Ciclo DMAIC, dentro da metodologia Seis Sigma é a principal ferramenta para melhorar processos. Além do DMAIC são utilizadas várias ferramentas do *Lean Manufacturing*. A empresa em que foi aplicado este estudo de caso implementou o Seis Sigma e aplica projetos objetivando melhorias em seus processos. Neste trabalho será exposto o sistema de melhoria da empresa e será feito um estudo de caso em cima de um projeto Seis Sigma aplicado. A aplicação da metodologia trouxe grandes ganhos financeiros para a organização, através do alcance da meta de perda de gás carbônico.

Palavras Chaves: Seis Sigma, *Six Sigma*, DMAIC.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Justificativa	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Metodologia	2
1.4. Estrutura do trabalho.....	2
2. BASE TEÓRICA	3
2.1. Indicadores	3
2.2. Origem e conceitos do Seis Sigma	3
3. ESTUDO DE CASO.....	9
3.1. Descrição da empresa	9
3.2. Processo produtivo.....	9
3.3. O Programa Seis Sigma na empresa	14
3.4. Aplicação do projeto Seis Sigma	14
4. ANÁLISE DE RESULTADOS	24
5. CONCLUSÃO.....	26
5.1. Conclusões	26
5.2. Recomendações para trabalhos futuros.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Ciclo DMAIC	5
Figura 2.2	Diagrama de Serpentes e Escadas	6
Figura 2.3	Gráfico de tendência.....	7
Figura 2.4	Fluxograma de atividade	7
Figura 2.5	Fluxograma funcional.....	7
Figura 2.6	Simbologia fluxograma	8
Figura 2.7	Diagrama de Causa e efeito	8
Figura 2.8	Matriz de seleção de soluções	9
Figura 3.1	Gráfico de serpentes do processo principal	10
Figura 3.2	Carbonatador volumétrico	11
Figura 3.3	Válvula de retenção	11
Figura 3.4	Válvula reguladora	12
Figura 3.5	Válvula moduladora	12
Figura 3.6	Válvula de alívio	13
Figura 3.7	Sistema de CO ₂	13
Figura 3.8	Sistema Frio.....	14
Figura 3.9	Gráfico de tendência de perda de CO ₂	16
Figura 3.10	Gráfico de serpentes e escadas do processo produtivo.....	16
Figura 3.11	Formulário de Planejamento do Projeto	17
Figura 3.12	Fluxograma do processo produtivo com pontos de medição	18
Figura 3.13	Gráfico de tendência da perda de CO ₂ em %	18
Figura 3.14	Gráfico de tendência da temperatura de envase da linha 1	20
Figura 3.15	Diagrama de causa e efeito da perda de CO ₂	20
Figura 3.16	Matriz de seleção de solução.....	22
Figura 3.17	Gráfico de tendência da perda de CO ₂	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Coleta de dados da temperatura da Linha de envase 01	19
Tabela 3.2 Validação das causas-raiz	21
Tabela 3.3 Check-list de inspeção de CO ₂	23

1. INTRODUÇÃO

No mundo globalizado, as empresas vêm buscando formas cada vez mais minuciosas para maximizarem os lucros e aumentarem a qualidade dos produtos oferecidos aos clientes. É sabido que os *stakeholders* são atraídos pela saúde financeira das empresas e que quanto mais positiva é essa relação, maior é a longevidade da empresa.

Em um mercado com uma concorrência alta, a alta cúpula empresarial planeja estratégias cada vez mais ousadas na busca da liderança do mercado ou para manter a liderança no mercado. Uma parte de extrema importância quando se fala em estratégia corporativa é o custo do produto e o preço de venda. Independentemente de se o mercado permite ou não que o preço de venda seja alterado sem afetar a demanda, é de extrema importância que o custo seja sempre minimizado para que a margem de lucro seja ampliada e assim os stakeholders continuem acreditando na empresa.

As empresas nas últimas décadas estão utilizando de metodologias e ferramentas da qualidade para reduzirem custos, aumentarem a qualidade e reduzirem a variabilidade dos processos. Neste contexto, pode ser destacada a importância do Seis Sigma para o negócio.

1.1. Justificativa

A metodologia Seis Sigma é capaz de trazer vantagem competitiva a empresa que utiliza de forma eficiente o seu potencial. O Seis Sigma não é uma simples escolha como a opção de utilizar uma ferramenta básica da qualidade na resolução de um problema.

A empresa que adota o seis sigma precisa de investimentos altos em treinamentos, escolha dos candidatos adequados para serem treinados e de uma mudança na cultura organizacional.

Após os treinamentos e estruturação adequados para aplicação da metodologia, a empresa está de posse de uma ferramenta com alto potencial para transformar a estratégia traçada pela alta cúpula em resultados concretos.

Nesse estudo será apresentada a aplicação da metodologia seis sigma em um indicador industrial estratégico para a indústria de refrigerantes que é o Rendimento do Gás Carbônico.

1.2. Objetivos

O objetivo geral desse estudo é mostrar a implementação da metodologia Seis Sigma através da análise de um projeto específico implementado. Serão apresentados os pontos fortes e os pontos de melhoria na implementação do projeto, assim como da metodologia utilizada para que as pessoas que se interessam pelo tema possam estudar um caso prático.

Os objetivos específicos do trabalho são os seguintes:

- Estudar a origem da metodologia Seis Sigma;
- Compreender a fundamentação teórica sobre a metodologia DMAIC;
- Aplicar a metodologia;
- Fazer a análise crítica do método utilizado e dos resultados obtidos;
- Indicar os pontos fortes da implementação para os interessados no tema.

1.3. Metodologia

Quanto à finalidade essa pesquisa pode ser classificada como aplicada, já que objetiva estudar um caso prático de uma empresa. Teixeira (2005) afirma que a pesquisa aplicada é aquela na qual os conhecimentos adquiridos são utilizados para aplicação prática voltados para a solução de problemas concretos da vida moderna.

Quanto à abordagem, a pesquisa é classificada como qualitativa, já que utiliza em grande parte dados qualitativos para chegar a conclusões a respeito do tema.

Os procedimentos utilizados neste trabalho são a pesquisa bibliográfica e o estudo de caso.

Na pesquisa bibliográfica serão estudados documentos e literatura acerca da metodologia Seis Sigma. Segundo Teixeira (2005) a pesquisa bibliográfica é aquela elaborada a partir de material já publicado, como livros, publicações em periódicos e artigos científicos.

No estudo de caso também é utilizado como procedimento pelo fato de que para desenvolver esse estudo será exposta a aplicação da metodologia Seis Sigma em uma indústria de bebidas brasileira.

1.4. Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. No segundo capítulo serão apresentados os conceitos que nortearam este trabalho, entre eles os indicadores, a origem e os conceitos do Seis Sigma.

No Capítulo 3 será apresentada a aplicação do projeto Seis Sigma utilizada no estudo de Caso focando no ciclo de melhoria DMAIC

No quarto capítulo será feita uma análise dos pontos positivos e negativos da aplicação do projeto.

E por último, no capítulo 5 será apresentada a conclusão do trabalho, explicitando as limitações, dificuldades na aplicação e sugestões para outros trabalhos de conclusão de curso.

2. BASE TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada a base para a aplicação do projeto seis sigma, abordando os indicadores, a origem e os conceitos do Seis Sigma.

2.1. Indicadores

Os indicadores servem para mostrar o estado de algum sistema em relação a uma determinada medida.

Um indicador mostra como foi o resultado de um determinado item em determinado período de tempo.

2.2. Origem e conceitos do Seis Sigma

O Seis Sigma nasceu na Motorola em 15 de Janeiro de 1987, com o objetivo de tornar a empresa capaz de enfrentar os concorrentes estrangeiros, que estavam fabricando produtos de melhor qualidade a um custo mais baixo (WERKEMA, pg18., 2010) .

Segundo Eckes (2001) os conceitos de Deming sobre a variabilidade de processos influenciaram um engenheiro da Motorola, que procurou utilizá-los para melhorar o desempenho dos processos industriais, a fim de enfrentar empresas concorrentes que fabricavam produtos com uma qualidade superior e preços menores.

Depois que a Motorola recebeu o Prêmio Nacional da Qualidade Malcolm Baldrige, em 1988, o Seis Sigma passou a ser conhecido como o responsável pelo sucesso alcançado pela organização. Entre o final da década de 80 e o início da década de 90, a Motorola obteve ganhos de 2,2 Bilhões de dólares com o programa (WERKEMA, pg18, 2010).

A partir da divulgação do sucesso da Motorola, outras empresas como a Asea Brown Boveri, AlliedSignal, General Electric e Sony passaram a utilizar o Seis Sigma (WERKEMA, 2010).

De uma maneira geral, as informações propagadas sobre o programa eram de que essas empresas estavam conseguindo colocar os seus processos em um nível de qualidade elevadíssimo; assim, elas alcançavam o nível de qualidade seis sigma(aproximadamente 3 não conformes/ defeituosos por milhão de produtos produzidos, mesmo havendo um deslocamento da média do processo em relação ao valor nominal em 1,5 desvios padrão (sigma)). Além disso este programa proporciona um grande retorno financeiro às empresas.

Outra informação divulgada foi esse gerenciamento era fortemente baseado em mensurações e que a estatística era principal peça utilizada na tomada de decisões, procedimentos até então pouco utilizados pelas empresas (AGUIAR, 2002, pág.203).

Segundo Werkema (2010), a empresa AlliedSignal obteve, de 1994 há 1998, um ganho de 1, bilhão de dólares e treinou 6 mil pessoas.

WERKEMA (2010) disse que a GE em 1999 obteve ganhos maiores da ordem de 1,5 Bilhões de dólares com o programa Seis Sigma.

Segundo Welch (2005), o Seis Sigma é um programa de qualidade que melhora a experiência do cliente, reduzindo custos e desenvolvendo melhores líderes na companhia. Esses resultados são obtidos mediante redução de desperdícios e ineficiência e por meio do projeto de produtos e de processos internos que ofereçam aos clientes o que eles querem, no momento em que eles precisam.

Segundo Werkema (2010), é possível definir o Seis Sigma como uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar drasticamente a lucratividade das empresas, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação de clientes e consumidores.

WERKEMA (2010, pág.15, pág16) explicita como o programa Seis Sigma deve ser compreendido sob alguns pontos:

- **Escala** - É usada para medir o nível de qualidade associado a um processo, transformando quantidade de defeitos por milhão em um número na escala sigma. Quanto maior o valor alcançado na escala Sigma, Maior o nível de qualidade.
- **Meta** - O objetivo do Seis Sigma é chegar muito próximo a zero defeito – 3,4 defeitos para cada milhão de operações realizadas.
- **Benchmarking** – É utilizado para comparar o nível de qualidade do produto, operação e processos.
- **Estatística** - É uma estatística calculada para a avaliação do desempenho das características críticas para a qualidade em relação às especificações.
- **Filosofia** – Defende a melhoria contínua dos processos e da redução da variabilidade, na busca de zero defeito.
- **Estratégia** – É baseada no relacionamento existente entre projeto, fabricação, qualidade final e entrega de um produto e satisfação dos consumidores.
- **Visão** – Programa visa levar a empresa a ser melhor em seu ramo.

Werkema (2002) disse que o Seis Sigma não envolve em sua essência nada inovador. As ferramentas estatísticas já eram conhecidas e faziam parte das ferramentas da qualidade para a eliminação de defeitos. É a abordagem do seis sigma junto à forma de implementação que justificam o sucesso do programa.

A estrutura envolvida no programa Seis Sigma envolve desde a alta cúpula da empresa até o chão de fábrica. Na indústria são envolvidos operadores, técnicos, supervisores, coordenadores, gerentes, diretor e presidente. De acordo com o as responsabilidades e níveis de atribuição são definidos os papéis dos colaboradores. São eles: *Champions* (campeões), *Sponsors* (patrocinadores), *Master Black Belts*, *Black Belts*, *Green Belts*, *White Belts*.

Usualmente o *Sponsor* do seis Sigma é o presidente da companhia o *Sponsor* facilitador é o diretor da companhia. O *Champion* é o gerente responsável por apoiar projetos e remover possíveis obstáculos. Os *Master Black Belts* são os profissionais que assessoram o *Sponsor* e *Champion* e atuam como mentores dos *Black Belts* e dos *Green Belts*. Os *Black Belts* são os líderes das equipes da condução de projetos multifuncionais ou funcionais. Os *Green Belts* são profissionais que participam das equipes lideradas pelos *Black Belts* (WERKEMA, 2010).

O programa Seis Sigma utiliza três metodologias. Os Ciclos DMAIC e DMADV para melhoria de processos e o PMCS para controlar processos. Além dessas são utilizadas várias ferramentas do *Lean Manufacturing*.

Segundo a SETEC (2006), a abordagem de melhoria DMAIC ajuda a tratar de problemas complexos ou recorrentes, com uma metodologia rigorosa, baseada em dados. A figura 2.1 mostra a seqüência ciclo seguem as etapas do DMAIC explicitadas:

1. **Definir** (*Define*) – Nesta fase, define-se a proposta e o escopo do projeto. Entre as ferramentas desta fase estão o formulário de planejamento do projeto, a análise do CTQ e diagramas de “serpentes e escadas”.

2. **Medir** (*Measure*) – Esta fase enfoca os esforços de melhoria reunindo informações da situação atual. Entre as ferramentas estão fluxogramas, definições operacionais, ferramentas de coleta de dados, amostragem, gráficos de controle, estratificação e gráficos de Pareto.

3. **Analisar** (*Analyze*) – Aqui, as causas-raiz são identificadas e confirmadas com os dados. Entre as ferramentas relevantes estão: ferramentas de coleta de dados, diagrama de causa e efeito, teste de hipóteses, diagramas de dispersão, análise de regressão e delineamento de experimentos.

4. **Melhorar** (*Improve*) – Na quarta fase, desenvolve-se o piloto, revisam-se e implementam-se as soluções que tratam das causas-raiz. Usam-se os dados para avaliar tanto as soluções quanto os planos utilizados para finalizá-las. As ferramentas desta etapa incluem formulários de checagem, matriz de priorização, análise de custo-benefício, FMEA, delineamento de experimentos, ferramentas de planejamento, ferramentas de gerenciamento de mudança, gráficos de Pareto, gráficos de controle e gráficos de frequência.

5. **Controlar** (*Control*) – Finalmente, mantêm-se os ganhos pela padronização dos métodos de trabalho, dos processos e transição para a implementação completa. Antecipam-se as melhorias futuras e preservam-se as lições deste esforço. Nesta fase, são comuns as ferramentas: formulário de checagem, gráficos de tendência, gráficos de controle e gráficos de Sistema de Controle de Gerenciamento do Processo. A figura 3.1 mostra O ciclo DMAIC.



Figura 2.1 Ciclo DMAIC
Fonte: SETEC (2008)

A seguir serão explicadas e ilustradas, quando necessário, as ferramentas mais utilizadas no ciclo DMAIC (SETEC, 2008):

- **Gráfico de serpentes e escadas** – Serve para mapear os processos principais da empresa e desdobrar os processos até chegar ao processo que se deseja analisar. No desdobramento são identificados os indicadores de alto nível, indicadores *outcome* e indicadores *upstream*. Os indicadores de Alto Nível (TLIs) avaliam o desempenho de uma organização ao longo do tempo. Incluem indicadores financeiros e indicadores do cliente relacionados aos itens críticos de controles. Os indicadores *Outcome* (Ys) determinam a qualidade do produto ou serviço fornecido aos clientes. Relacionam-se com os itens críticos de controle e avaliam o grau de conformidade (expresso em defeitos), a fim de validar os requisitos. Os indicadores *Upstream* (Xs) medem os pontos críticos do processo, a fim de avaliar o desempenho para se realizar uma ação corretiva. A figura 2.2 ilustra o diagrama de serpentes e escadas

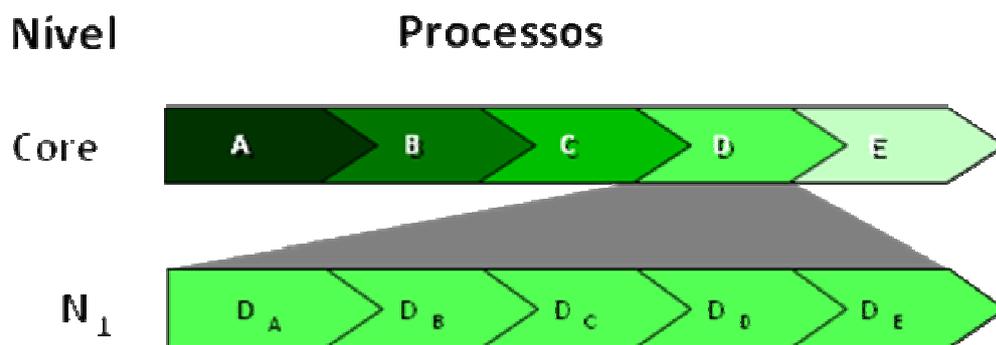


Figura 2.2 Diagrama de Serpentes e Escadas
 Fonte: SETEC (2008)

- **Gráfico de tendência** – As linhas facilitam o rastreamento de tendências de dados ou de variações conforme mostra a figura 3.3. O Gráfico de tendência é uma ótima ferramenta para enfatizar mudanças e podem ser utilizados para rastrear mais de uma série de dados por vez.

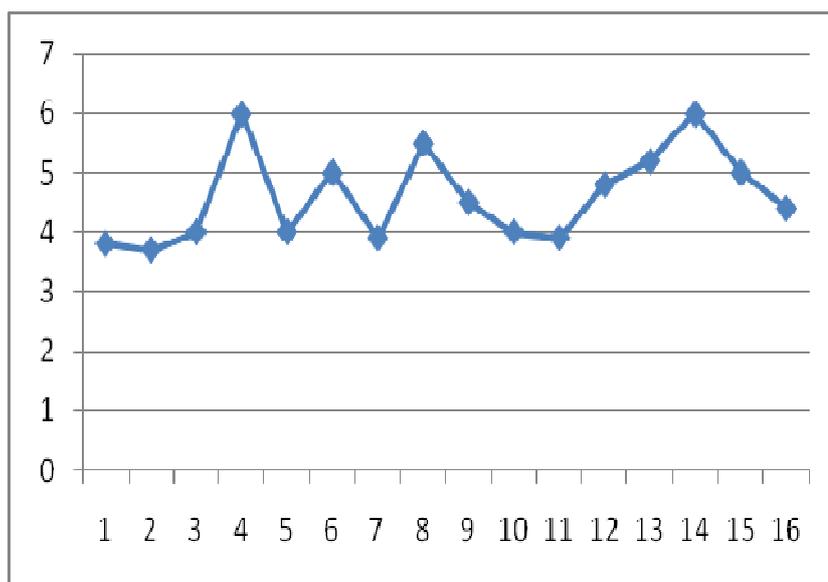


Figura 2.3 Gráfico de tendência
 Fonte: O Autor (2010)

- **Fluxograma** – Um fluxograma de atividade mostra as fases do processo em seqüência conforme ilustra a figura 2.4. Um fluxograma funcional além da seqüência explicita que área ou função é responsável por cada atividade (figura 2.5). A figura 2.6 mostra a simbologia dos fluxogramas.

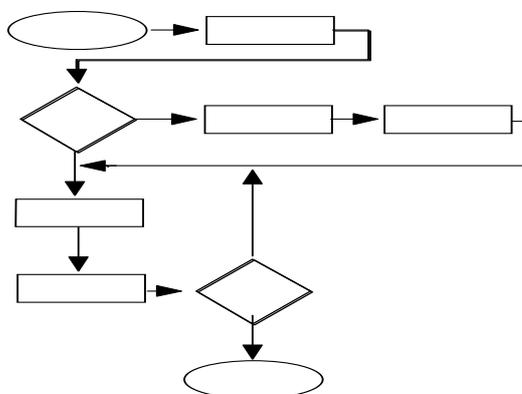


Figura 2.4 Fluxograma de atividade
Fonte: O Autor (2010)

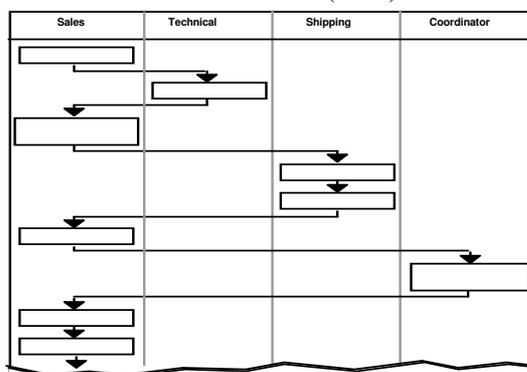


Figura 2.5 Fluxograma funcional
Fonte: O Autor (2010)

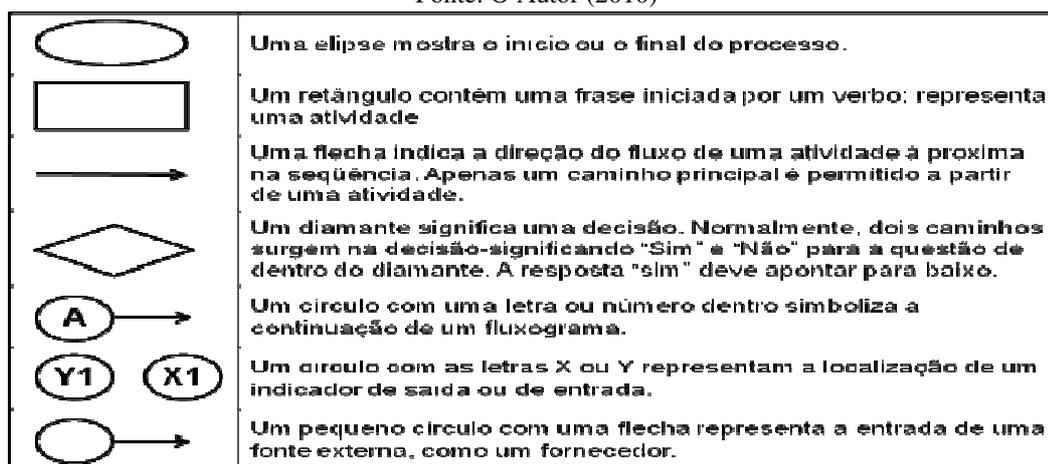


Figura 2.6 Simbologia fluxograma
Fonte: SETEC (2008)

- **Diagrama de causa e efeito** – Chamado também de diagrama *Ishikawa* ou espinha de peixe. O diagrama representa uma distribuição gráfica de linhas e palavras que representa uma significativa relação entre um efeito e suas causas. Essa ferramenta

estrutura as causas potenciais para que as causas-raiz possam ser identificadas e ações corretivas possam ser tomadas. A causa-Raiz é a causa latente do problema, não um sintoma. A figura 2.7 ilustra a explicação.

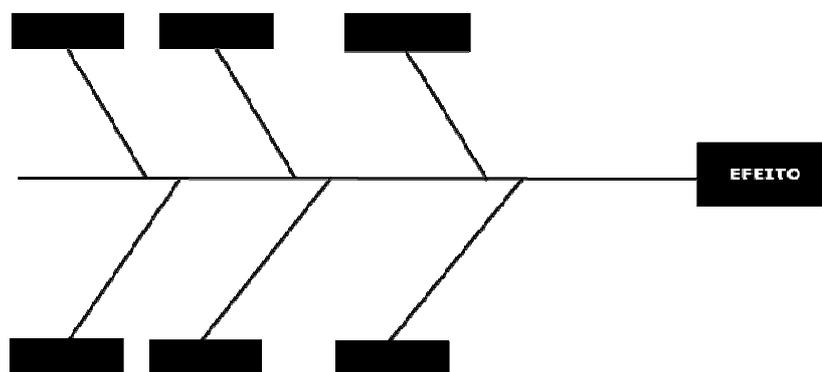


Figura 2.7 Diagrama de Causa e efeito
Fonte: O Autor (2010)

- **Os cinco por quês** – Para sugerir as causas-raiz, se inicia pela definição final de seu problema e então é perguntado “POR QUÊ” cinco vezes. Pode acontecer de um por quê submeter a mais de uma resposta o que significa mais de uma causa para o problema.
- **Matriz de seleção de soluções** – A matriz mostra a relação da definição do problema, das causas-raiz e das soluções propostas. Avalia qual(is) solução(ões) implementar pela avaliação da eficiência da solução e da facilidade de implementação das tarefas selecionadas, conforme a figura 2.8.

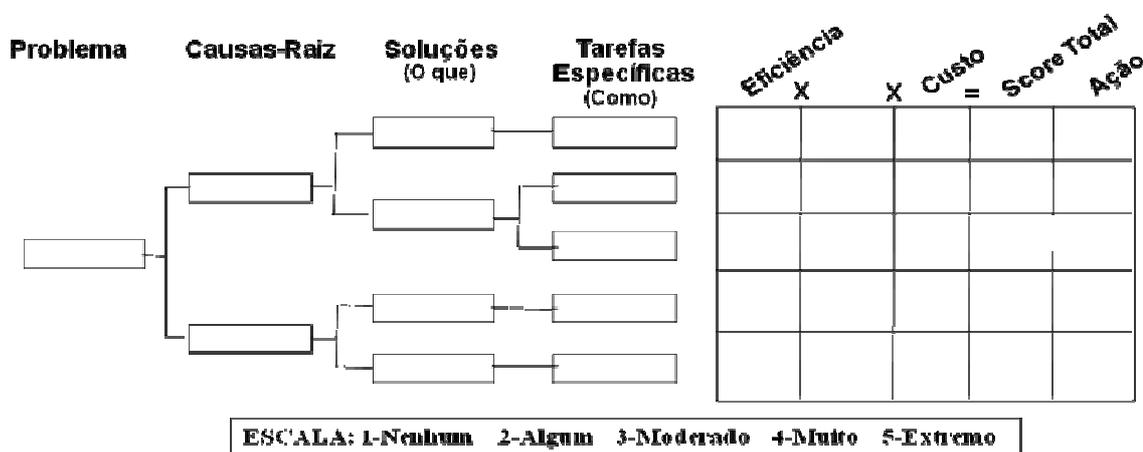


Figura 2.8 Matriz de seleção de soluções
Fonte: SETEC(2008)

3. ESTUDO DE CASO

Este capítulo explicita a aplicação de um projeto seis sigma com o objetivo de minimizar o desperdício de gás carbônico no processo de carbonatação de uma indústria de bebidas. Será descrita, ainda, a empresa e o contexto dela no mercado e a introdução do seis sigma na empresa.

3.1. Descrição da empresa

Por questão de confidencialidade, a empresa preferiu não ser identificada e será chamada neste trabalho como Empresa Estudo de Caso (EEC). A EEC está inserida na região do Nordeste, possui aproximadamente 3.000 funcionários diretos, divididos em quatro unidades fabris e quatro centros de distribuição. O processo principal dela é planejar, produzir, vender, distribuir e atender ao cliente, como mostra a figura 3.1 a seguir:



Figura 3.1 Gráfico de Serpentes do processo principal
Fonte: O Autor (2010)

A empresa produz cerca de 70 tipos de bebidas diferentes e comercializa mais outros 80 tipos produzidos por outras engarrafadoras do sistema. Dentro dos produtos próprios estão: refrigerante, água e suco. Dentre os produtos apenas comercializados estão outros produtos não carbonatados como energético, chá, cerveja, chopp, achocolatado. Divididos em refrigerante, água e suco. Dentre os produtos apenas comercializados estão outros produtos não carbonatados como energético, chá, cerveja, chopp, achocolatado. Líder no mercado em 2009 teve aproximadamente 60% de participação no mercado de bebidas carbonatadas nos estados em que atua.

3.2. Processo produtivo

Como a EEC produz apenas refrigerante, água e suco e apenas o refrigerante e a água gaseificada são carbonatados, o processo abordado será o de refrigerantes e água. Exposto isto, as linhas de produção que serão estudadas são as 3 linhas que produzem embalagem de plástico e a linha que produz refrigerante em lata. Uma das linhas de embalagens plásticas produz o produto água gaseificada. O processo produtivo da EEC consiste em fabricar a bebida, envasar, embalar, e paletizar o produto. A primeira etapa do processo é o tratamento da água que a empresa recebe de forma bruta de um fornecedor local. Após a água ser tratada e transformada em água polida, o açúcar é diluído na água. Após essa etapa é adicionado o concentrado do refrigerante a ser produzido. A última etapa, antes do envase, é a carbonatação. Cada tipo de refrigerante tem uma quantidade de gás carbônico específico. O envase do processo em questão acontece por um sistema barométrico e por um sistema volumétrico. No momento do envase cada linha de produção tem uma faixa de temperatura ideal para que as partículas do refrigerante não agitem e afetem o processo de carbonatação e, conseqüentemente, a velocidade de envase da linha.

O processo que será abordado é o de carbonatação. Dentro do sistema de gás carbônico, o carbonatador é um ponto crítico, já que este equipamento tem como função de agregar a cada

tipo de bebida a quantidade de gás carbônico especificada. Tendo em vista a importância deste equipamento para o processo será explicitado o funcionamento do mesmo, incluindo as válvulas do sistema. A figura 3.2 mostra um carbonatador volumétrico.

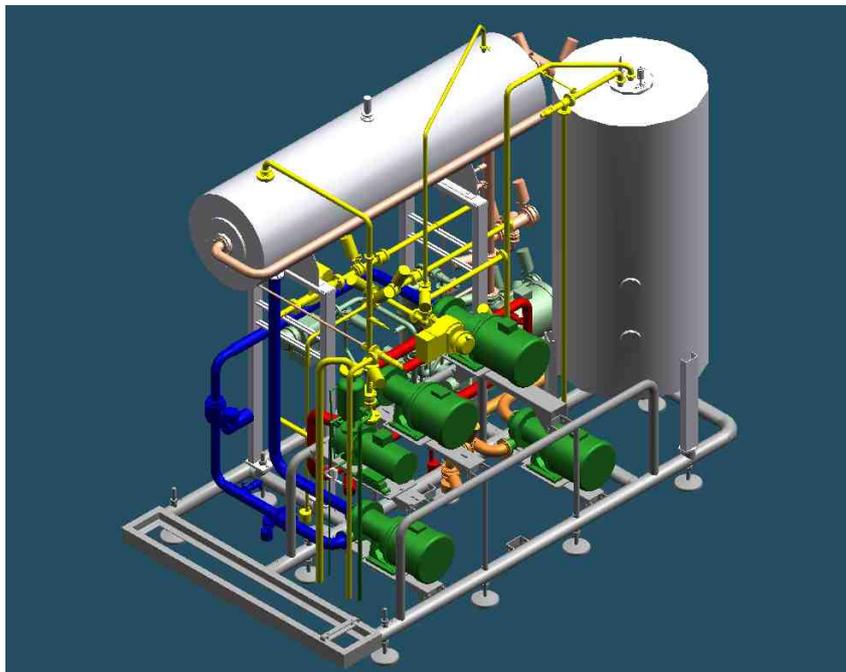


Figura 3.2 Carbonatador volumétrico
Fonte: EEC (2010)

Após a bebida ficar pronta, a área da Fabricação envia a bebida para o carbonatador através de uma bomba a vácuo. É necessário que seja esse tipo de bomba pelo fato do oxigênio atmosférico provocar agitação no momento do envase. Na tubulação entre a fabricação e o carbonatador existe uma válvula de retenção para impossibilitar o fluxo reverso de bebida e gás carbônico (figura 3.3).



Figura 3.3 Válvula de retenção
Fonte: EEC (2010)

O Carbonatador é o tanque onde acontece o processo de carbonatação. O Carbonatador recebe a bebida pronta que através de um atomizador que insere o gás carbônico na bebida. O atomizador é um cilindro com pequenos furos por onde entra a bebida no carbonatador e é

quando a bebida em partículas pequenas entra em contato com uma atmosfera de gás carbônico no estado gasoso. Cada tipo de bebida tem uma especificação de pressão que o carbonatador precisa manter para que a bebida seja envasada com o parâmetro de carbonatação adequado. Existem válvulas que atuam neste sistema. A primeira delas é a válvula reguladora, explicitada na figura 3.4, que é responsável por rebaixar a pressão recebida dos tanques de armazenamento de gás carbônico.



Figura 3.4 Válvula reguladora
Fonte: EEC (2010)

Uma válvula que atua na entrada carbonatador é a válvula moduladora (Figura 3.5) que regula o fluxo de acordo com a informação de pressão interna do carbonatador.



Figura 3.5 Válvula moduladora
Fonte: EEC (2010)

Existe outra válvula chamada de válvula de alívio (Figura 3.6) que atua despressurizando o carbonatador caso a pressão aumente um espaço muito curto de tempo. Este sistema de válvulas é comandado por um PLC que recebe as variáveis do sistema e comanda as válvulas. Existe, ainda, uma válvula de segurança no carbonatador, responsável por aliviar a pressão, caso a válvula de alívio não funcione, para prevenir que uma pressão excessiva provoque a explosão do carbonatador.



Figura 3.6 Válvula de alívio
Fonte: EEC (2010)

A figura abaixo mostra o fluxo do gás carbônico do recebimento até a utilização nos carbonatadores das enchedoras.

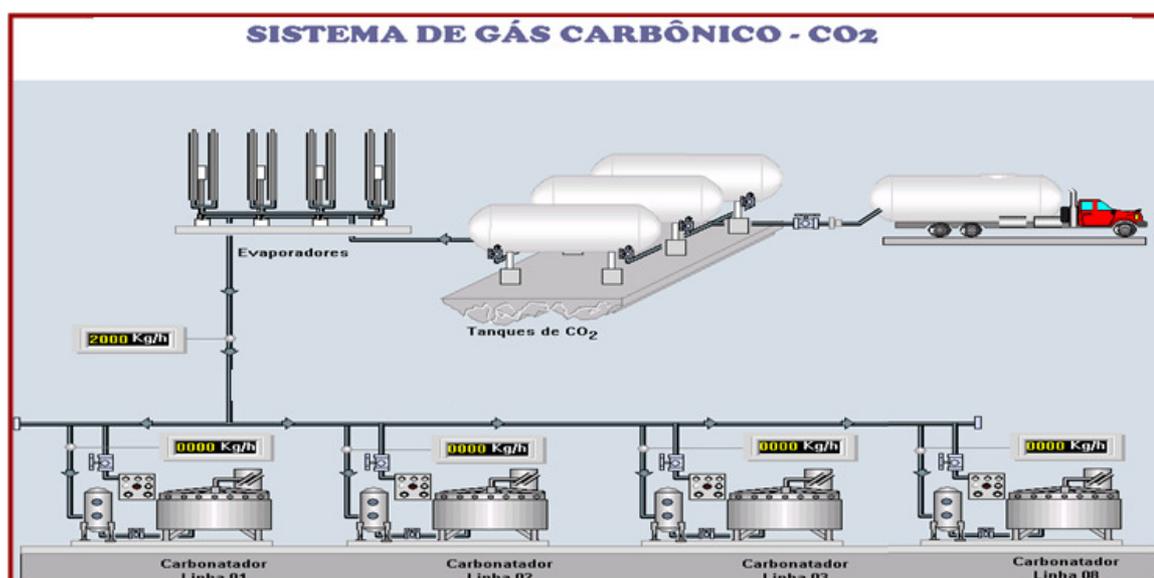


Figura 3.7 Sistema de CO₂
Fonte: EEC (2010)

Na cúpula de enchimento, existe um gás que faz a contrapressão na bebida já carbonatada e quando essas pressões se equiparam o enchimento é encerrado no nível adequado. O tubo de ar da enchedora tem a função de conectar a bebida a cúpula e faz com que o nível da bebida na garrafa/lata seja de acordo com o parâmetro especificado. Cada volume de bebida possui um tamanho de tubo de ar adequado.

No momento do envase da bebida, existe um parâmetro de temperatura da bebida para cada linha e tipo de bebida. A temperatura no envase varia entre 2 e 12 Graus Celsius. No momento do envase, se a bebida estiver fora da temperatura especificada acontece uma agitação das moléculas da bebida que provoca uma imprecisão no nível de bebida, diminuição da velocidade da linha e um rendimento mais baixo na carbonatação. O sistema que tem como função resfriar a bebidas para deixar a temperatura da bebida dentro da especificação é

chamado de sistema frio e e composto por torres de resfriamento, Chillers de amônia e óleo, Bombas, trocadores de calor, tubulações isoladas, tanque de solução alcoólica e a solução alcoólica. A Figura 3.8 mostra o sistema em questão. Problemas no sistema frio afetam diretamente a produtividade e o rendimento do processo de carbonatação.

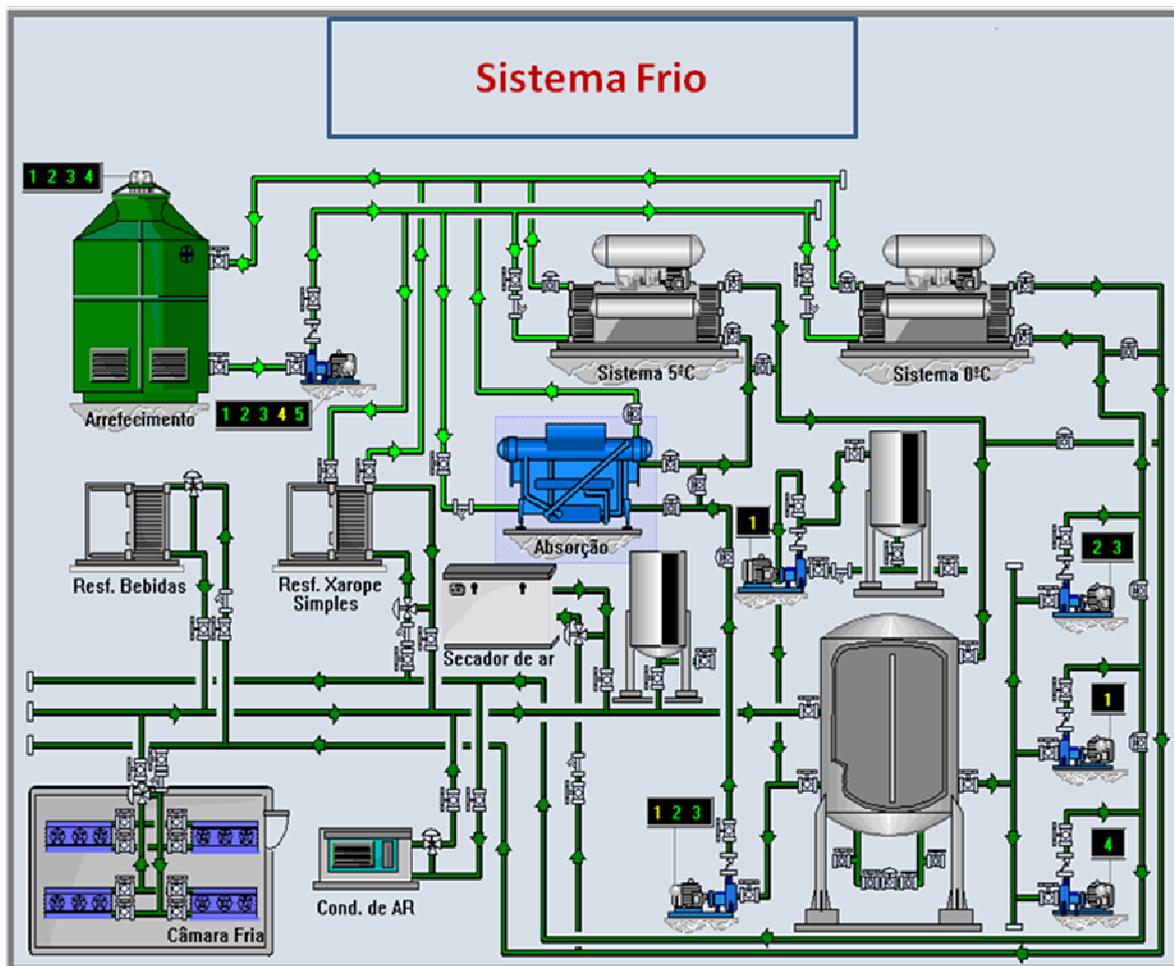


Figura 3.8 Sistema Frio
 Fonte: EEC (2010)

3.3. O Programa Seis Sigma na empresa

A EEC iniciou a implementação do Seis Sigma em 2004 com o intuito de melhorar os processos e obter ganhos financeiros. Após a decisão estratégica de implementar o Seis Sigma foram treinados os funcionários das diretorias, principalmente, operacionais para que os projetos fossem iniciados. Desde o início foram treinados 30 Black Belts e cerca de 200 Green Belts. Os treinados foram de sete diretorias distintas. Foi criada ainda uma área de excelência operacional para ministrar e organizar os treinamentos e apoiar na implementação e desenvolvimento dos projetos. A alta cúpula da empresa junto à área de excelência operacional escolhe os projetos que ajudarão a empresa a cumprir o planejamento estratégico através de projetos da melhoria e controle dos processos. O projeto tema deste trabalho foi escolhido pela diretoria industrial com o objetivo de melhorar o rendimento no processo de carbonatação.

3.4. Aplicação do projeto Seis Sigma

Depois de ser definido que seria feito um projeto Seis Sigma focando na perda no processo de carbonatação, foi estruturada uma equipe multidisciplinar com a liderança do autor deste trabalho que teve o treinamento de *Black Belt* e era supervisor da área de utilidades. A equipe foi formada com um, técnico da área de utilidades, um Supervisor de Fabricação, uma analista de planejamento e controle da produção, uma técnica da área de qualidade e um analista de produção. Na Figura 3.10 estão expostos os nomes dos membros da equipe do projeto assim como suas respectivas funções. No primeiro encontro da equipe, que aconteceu no mês de Fevereiro de 2009, ficou definido que os encontros seriam semanais e com duração de uma hora. Além disso foi definido que a gerência industrial e da área de Seis Sigma dariam o suporte necessário na condução do projeto.

O projeto seguiu a metodologia DMAIC e na etapa definir do projeto foi identificada a oportunidade de melhoria no processo, os indicadores relacionados ao processo e a situação atual do problema em questão.

A liderança de uma das unidades fabris do grupo identificou a oportunidade de reduzir as perdas no processo de carbonatação que de Agosto/08 a março/09 representou um valor superior à R\$ 750 mil. A perda em percentual pode ser observada no gráfico de tendência da figura 3.9. No período citado a perda média representou 34% contra a meta de 13,4%.

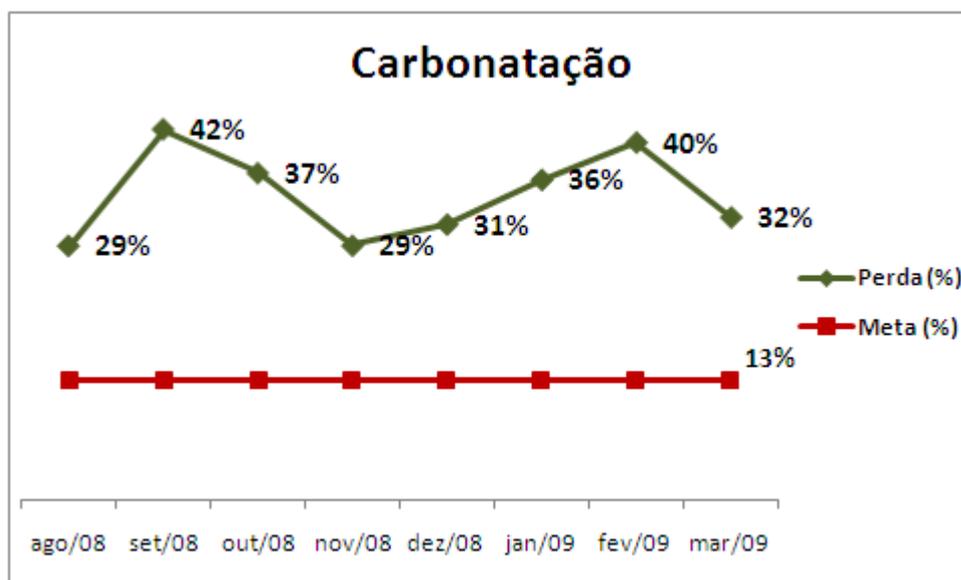


Figura 3.9 Gráfico de tendência de perda de CO₂
 Fonte: O Autor (2010)

O indicador X que sofre impacto do rendimento do processo de carbonatação é o COGS/Receita Líquida que é calculado pelos custos operacionais divididos pela Receita líquida. Este indicador é do tipo X e não se pode atuar diretamente nele, ele já é um resultado apurado.

O indicador Y1 é a perda de CO₂ que é onde o projeto vai focar. Um indicador do tipo Y significa que se pode atuar diretamente nele. Uma melhoria em um indicador Y reflete em um indicador do tipo X. No caso, o Indicador X COGS/Receita Líquida é subdividido em vários indicadores do tipo Y como, por exemplo, rendimento de açúcar, água, carbonatação, concentrado e embalagens. A figura 3.10 ilustra o que foi explicitado neste parágrafo.

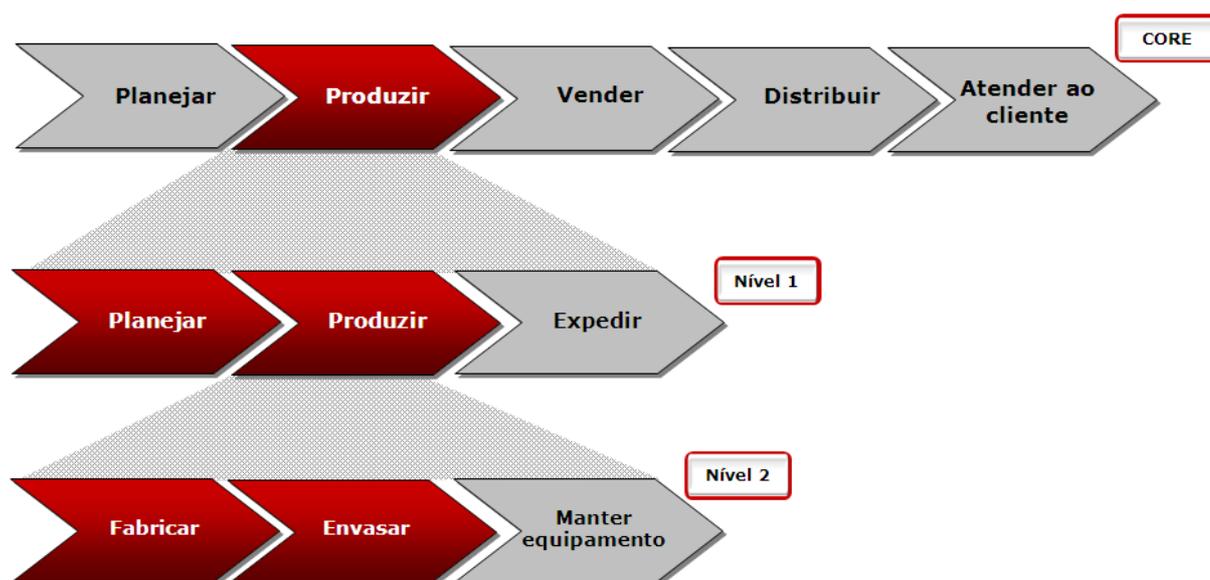


Figura 3.10 Gráfico de serpentes e escadas do processo produtivo
 Fonte: O Autor (2010)

Ainda na etapa Definir foi desenvolvido o cronograma de desenvolvimento do projeto através do formulário de planejamento do projeto conforme a figura 3.11

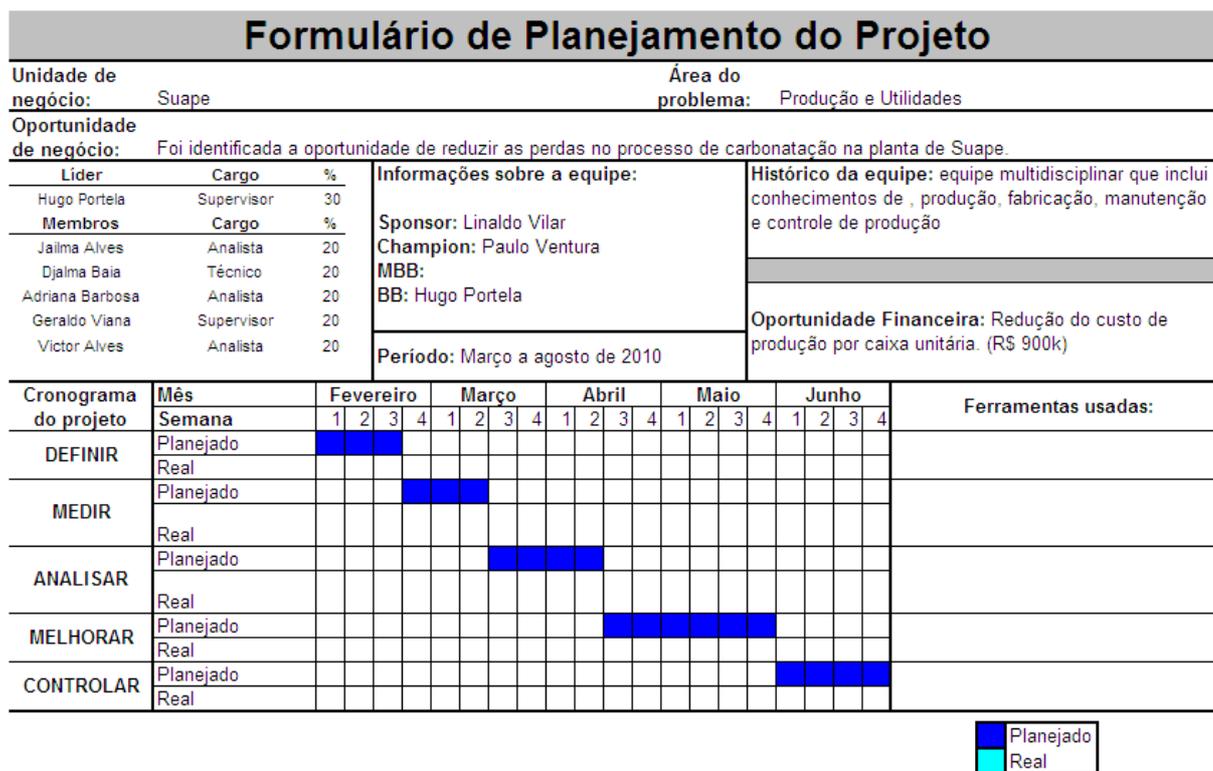


Figura 3.11 Formulário de Planejamento do Projeto
 Fonte: O Autor (2010)

A etapa medir teve início duas semanas após o início do projeto, e nela, foram definidos os pontos de medição que seriam acompanhados com intuito de identificar possíveis problemas no processo. Após o mapeamento do processo a equipe definiu os pontos críticos de controle. A figura 3.12 mostra os pontos de medição.

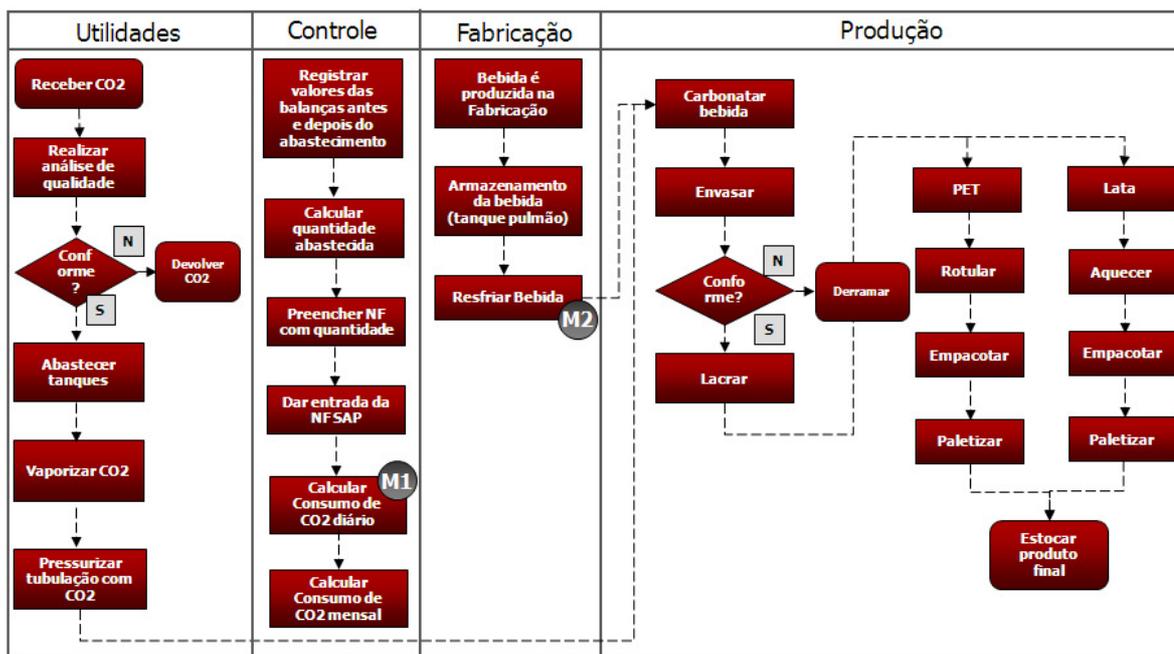


Figura 3.12 Fluxograma do processo produtivo com pontos de medição
 Fonte: O Autor (2009)

No ponto M1, conforme mostra a figura 3.13 foi analisado através do gráfico de tendência a perda no processo de carbonatação diariamente. Foi constatado que a meta de perda de 13,4% não foi atingida em nenhum dia do período acompanhado. A perda de gás carbônico é medida pela diferença entre o consumo teórico e o consumo real. O consumo teórico é calculado pela soma da produção de cada produto e convertendo-se em Kilogramas de gás carbônico. Por exemplo, para um refrigerante X a quantidade de gás carbônico por litro da embalagem de plástico é de 8,5 Gramas. A quantidade de 8,5 Gramas é chamada de alvo, podendo o valor variar 7% para cima ou para baixo deste valor, definindo uma faixa de especificação. A multiplicação da quantidade de litros deste refrigerante por 8,5 Gramas é o consumo teórico do refrigerante X. O consumo real é calculado por dia. Todos os dias no início do turno é coletado o peso instantâneo do gás carbônico nas balanças dos tanques de armazenagem. O consumo real, então, é a diferença entre o peso registrado no dia subtraído o peso do dia anterior e somado com a quantidade abastecida dentro do mesmo período.

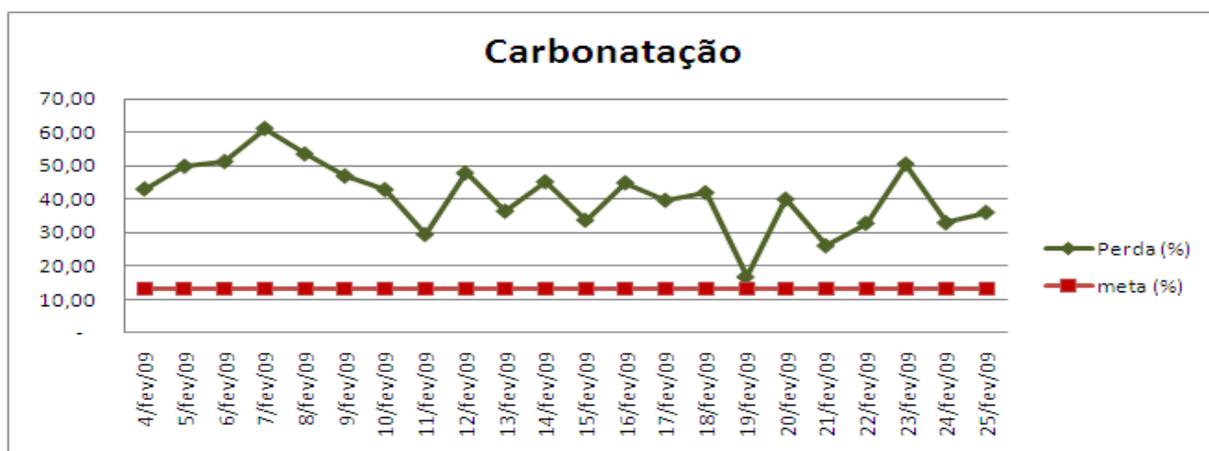


Figura 3.13 Gráfico de tendência da perda de CO₂ em %
 Fonte: O Autor (2009)

No ponto M2 foi medida a variação da temperatura da bebida no processo de envasamento da bebida. Os dados foram coletados pelo técnico da área de utilidades conforme a tabela 3.1. O sistema supervisorio da área de Utilidades mostra a informação da temperatura instantânea que recebe de um termômetro instalado no tanque de solução alcoólica. Como o registro histórico das temperaturas não funcionava foram coletadas as informações de hora em hora.

Tabela 3.1 Coleta de dados da temperatura da Linha de envase 01

Data	Hora	Produto	Temp. Bebida (°C)
25/fev/09	08:00	A	3,8
25/fev/09	09:00	A	3,7
25/fev/09	10:00	A	4
25/fev/09	11:00	A	6
25/fev/09	12:00	A	4
26/fev/09	14:00	B	5
26/fev/09	15:00	B	3,9
26/fev/09	16:00	B	5,5
26/fev/09	17:00	B	4,5
26/fev/09	18:00	B	4
26/fev/09	19:00	B	3,9
27/fev/09	09:00	C	4,8
27/fev/09	10:00	C	5,2
27/fev/09	11:00	C	6
27/fev/09	12:00	C	5
27/fev/09	13:00	C	4,4

Fonte: O Autor (2010)

Os dados foram colocados em um gráfico de tendência, conforme a figura 3.14. A média da temperatura de envase na linha 01 foi de 4,6 °C e o desvio-padrão 0,77. Pode-se dizer que a temperatura tem uma variação alta.

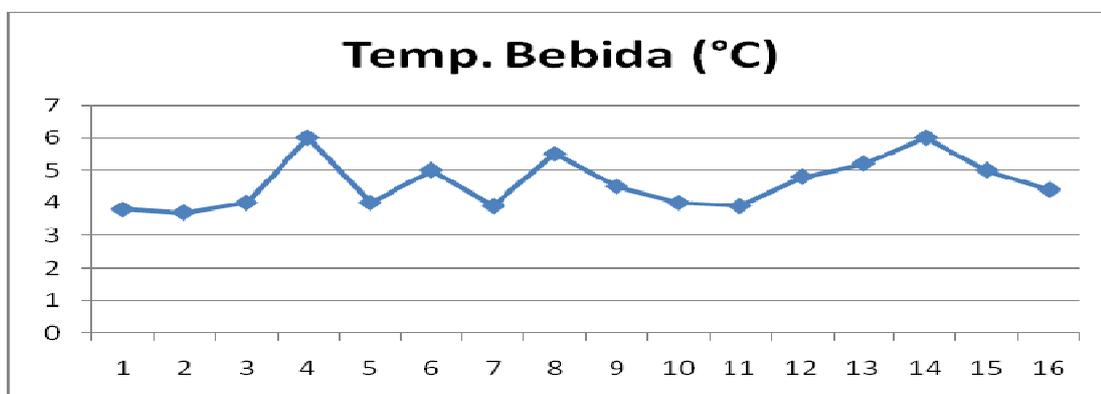


Figura 3.14 Gráfico de tendência da temperatura de envase na Linha 01

Fonte: O Autor (2010)

A etapa analisar aconteceu um mês após o início do projeto e iniciou com um *brainstorming* com pessoas envolvidas no processo em questão para ser analisada a origem do problema. Foi levantado junto às pessoas das áreas de Utilidades, Fabricação e Produção para que, junto aos processos que estavam sendo medidos, pudessem ser levantadas as possíveis causas-raiz da perda de gás carbônico.

O *brainstorming* teve duração de 3 horas. Neste encontro as pessoas envolvidas no processo encontraram pontos potenciais causadores da perda de gás carbônico e foi montado o diagrama de causa e efeito explicitado na figura 3.15. Não foram encontradas possíveis causas nos Ms Mão-de-obra e Meio ambiente, sendo assim, estes campos foram excluídos do diagrama.

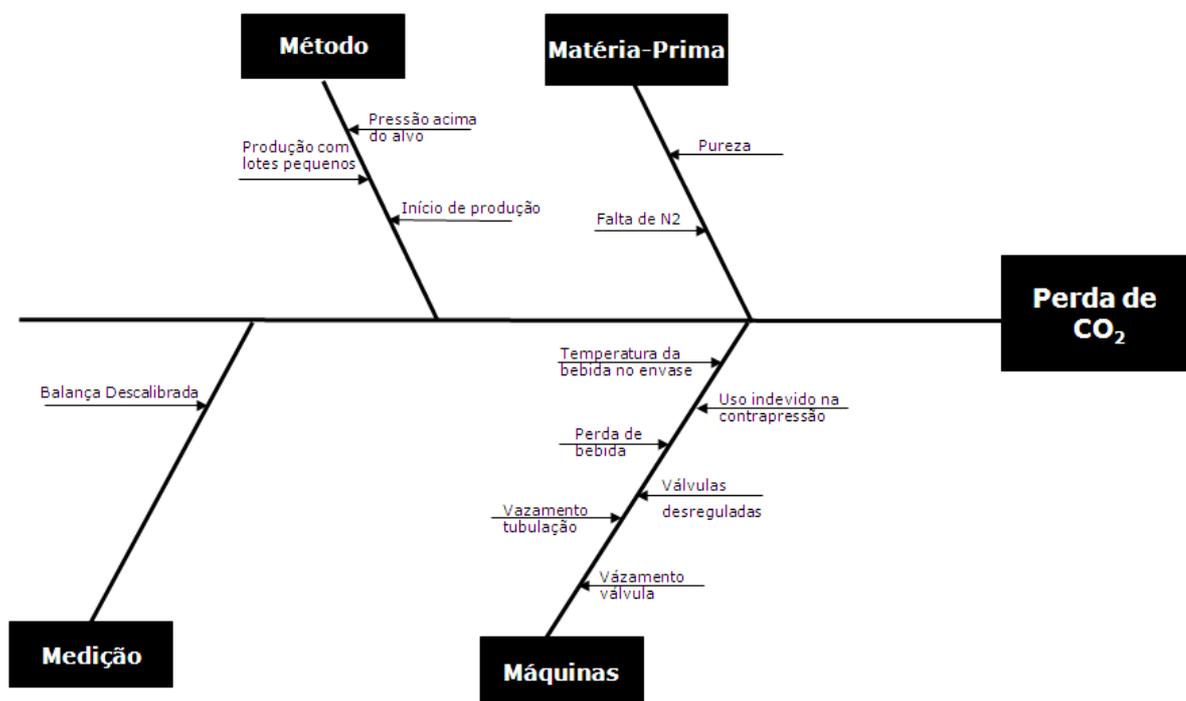


Figura 3.15 Diagrama causa e efeito da perda de CO₂
 Fonte: O Autor (2010)

Seguindo o ciclo DMAIC, após o levantamento das possíveis causas raiz foi feita a validação delas. A tabela 3.2 mostra a o método utilizado para validação de cada causa-raiz.

Tabela 3.2 Validação das causas-raiz

Ítem	M	Possível Causa	Método utilizado	Causa-Raiz?
1	Método	Produção com pequenos lotes	Registro de dados lote a lote, cálculo de perda e comparação com a especificação	Não
2	Método	Início de produção	Registro de dados no início dos lotes, cálculo de perda e comparação com a especificação	Não
3	Método	Pressão acima da especificação	Análise dos registros do controle de qualidade	Sim
4	Método	Abastecimento dos tanques	Acompanhamento do procedimento de abastecimento	Não
5	Matéria prima	Falta de Nitrogênio	Análise do resgistro de paradas das linhas	Não
6	Matéria prima	Pureza do CO2	Análise dos relatórios de qualidade do produto	Não
7	Máquina	Temperatura da bebida no envase	Acompanhamento da variação da temperatura versus variação da perda	Sim
8	Máquina	Uso indevido na contra-pressão	Inspeção nas válvulas de by-pass em todos os turnos	Sim
9	Máquina	Perda de bebida	Análise de resultados de perdas de bebida e conversão em peso de CO2	Sim
10	Máquina	Vazamento em tubulações	Utilização de detector de vazamentos ultrassônico para identificar vazamentos	Não
11	Máquina	Vazamento válvulas	Inspeção nas válvulas e utilização de produto químico para identificar visualmente a presença de vazamentos	Sim
12	Máquina	Válvulas desreguladas	Inspeção nas válvulas e testes junto ao fornecedor de calibração	Sim
13	Medição	Balança descalibrada	Utilização de gabarito e análise da variação do peso durante parada de fábrica	Não

Fonte: O Autor (2010)

Ainda na etapa analisar, após a validação das causas-raiz, foi montada, junto à equipe, a matriz de seleção de solução, conforme a figura 3.16, a viabilidade das soluções. Foram identificadas quais causas-raiz obtiveram um *score* maior. Quanto maior o *score* mais viável é a solução. O ponto de corte considerado pelo grupo foi de 45. As soluções que apresentaram a pontuação superior a 45 foram: Uso indevido de CO2 na contrapressão, válvulas desreguladas, vazamento nas válvulas e temperatura da bebida no envase.



Figura 3.16 Matriz de seleção de solução

Fonte: O Autor (2010)

A causa-raiz pressão acima do alvo foi considerada com alta dificuldade pelo fato do decréscimo do alvo afetar diretamente na qualidade do produto por diminuir o *shelf life*. Como a satisfação do cliente é um valor da EEC a causa raiz teve um *score* baixo e foi definida como impraticável.

A causa-raiz perda de bebida foi analisada pelo índice de perda de bebida da fábrica. O valor era cerca de 1% que comparando com uma perda proporcional de gás carbônico de 32% representava muito pouco. Sendo assim essa causa foi penalizada na eficiência o que a tornou inviável.

Na etapa Melhorar, que teve início no mês de março de 2009, foram implementadas as soluções propostas na etapa Analisar do ciclo DMAIC. A causa “uso indevido na contrapressão” foi considerada viável por ter uma eficiência alta e facilidade de implementação alta, mesmo tendo um custo médio de implementação. Uma ação de aplicação direta foi o bloqueio do uso de gás carbônico em parte das linhas, o que mostrou grande representatividade no resultado de perda de gás carbônico diário da fábrica e pode ser vista na figura 3.11 no mês de Abril de 2009. Para o monitoramento da perda diária por linha foram adquiridos medidores mássicos de fluxo de CO₂. Essa solução foi de extrema importância depois de implementada. A partir deste monitoramento puderam ser identificados os problemas que afetavam o rendimento de cada linha. As ações para corrigir os problemas ganharam agilidade, gerando uma consistência no processo.

Para tratar a causa-raiz das válvulas desreguladas e os vazamentos nas válvulas foi feito o reparo das válvulas e a calibração das válvulas reguladoras, moduladoras e de alívio. Foi montado também um check-list para a inspeção dos pontos críticos e inserido no módulo de manutenção planejada do programa SAP conforme tabela 3.3. Os pontos que eram identificados como problemáticos voltavam para a área de planejamento de manutenção e eram emitidas ordens de execução para a área de manutenção. Após a execução das manutenções foram acompanhadas as válvulas por meio do *check-list* e foi identificada a periodicidade correta para manutenção preventiva. Essa periodicidade encontrada foi de 3 meses. Os *check-lists* continuaram funcionando para o caso de um desgaste precoce nas válvulas, um problema de calibração ou de automação ocorrer. Essa melhoria aplicada gerou maior agilidade também na correção dos problemas.

Tabela 3.3 Check-list de inspeção de CO₂

ITEM	ATIVIDADE	ONDE?	PERIODICIDADE	OK?
01	Válvula Reguladora de Pressão do Carbonatador	Todas as linhas	Mensal	
02	Válvula Moduladora do Carbonatador	Todas as linhas	Mensal	
03	Válvula de alívio do Carbonatador	Todas as linhas	Mensal	
04	Válvula de retenção da tubulação de bebida	Todas as linhas	Mensal	
05	Painel regulador de pressão	Todas as linhas	Mensal	
06	Bóia da válvula de alívio	Todas as linhas	Mensal	
07	Válvula reguladora de Pressão da Recravadora	Linha 02	Mensal	
08	Válvula moduladora de CO ₂	Carbonatador da Linha 08	Mensal	
09	Válvula reguladora	Carbonatador da Linha 08	Mensal	
10	Válvulas de consumo (Fase líquida e gasosa)	Utilidades (Tanque de CO ₂)	Mensal	
11	Válvula de alívio do tanque	Utilidades (Tanque de CO ₂)	Mensal	

Fonte: O Autor (2010)

A causa-raiz temperatura de envase de bebida foi tratada sendo fechado um contrato de manutenção com o fabricante dos equipamentos de refrigeração, os *Chillers*. Para isso foi estruturado um contrato completo de manutenção preventiva e corretiva com o fornecedor. Após o fechamento do contrato foi montado um cronograma de acompanhamento mensal dos equipamentos, onde eram inspecionados no intuito de identificar possíveis fontes. Além deste ponto as manutenções preventivas de 30.000 horas dos equipamentos foram seguidas rigorosamente para o aumento da eficiência dos equipamentos. Para os trocadores de calor dos *Chillers* também foi montado um acompanhamento da qualidade da água que circulava por ele e limpeza das placas.

Depois de implementadas as ações para tratamento das causas-raiz foi apurado que as ações de tratamento foram eficientes como apresentado na figura 3.17.

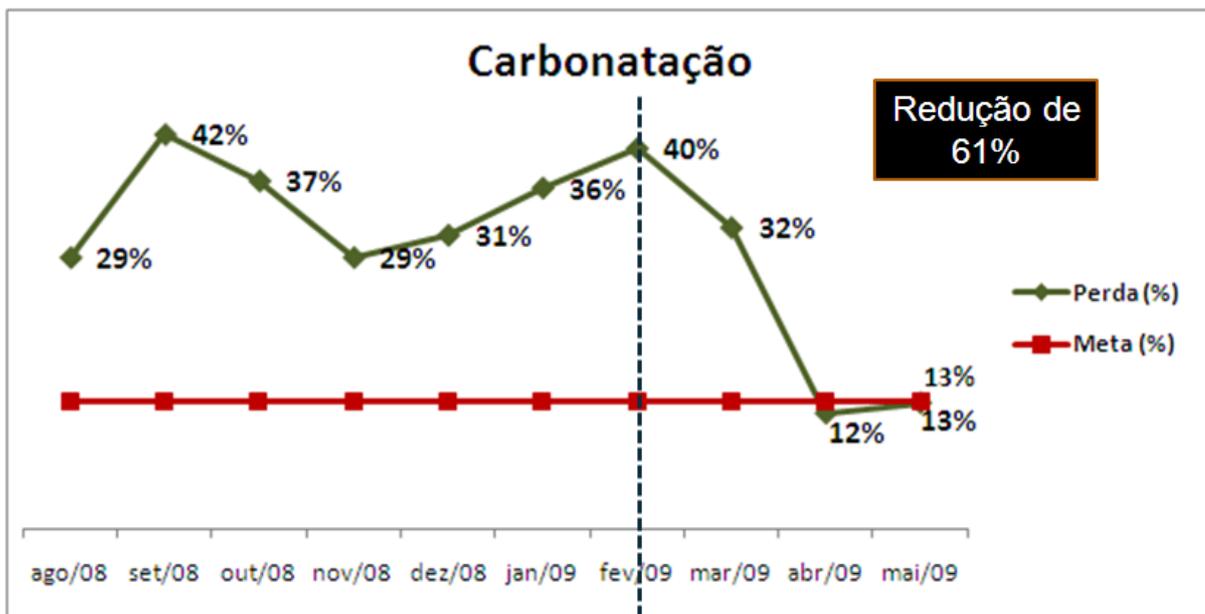


Figura 3.17 Gráfico de tendência da perda de CO₂
 Fonte: O Autor (2010)

Na etapa controlar, foi determinado o que seria necessário para manter a melhora consolidada. Foi estabelecido qual indicador seria acompanhado, quem seria o responsável e que outras ferramentas seriam utilizadas para acompanhamento do processo.

A função responsável pelo acompanhamento da perda de Gás Carbônico por linha diário foi o supervisor de utilidades, que analisa a tendência dos resultados e faz a intervenção necessária para manter ou melhorar o resultado atingido.

Além do acompanhamento incorporado à rotina do supervisor de utilidades foi definido que os técnicos subordinados a essa função seriam responsáveis pela execução da inspeção de rota (Tabela 3.3) e que essa função acompanharia se a periodicidade deveria ser realmente trimestral ou deveria ser alterada.

Foi ainda definido um planejamento de manutenção preventiva nos Chillers para que a temperatura da bebida não sofresse alterações representativas. Além disso, foi recomendado a ativação do histórico do sistema que registra as temperaturas instantâneas para que se fosse identificado em algum dia uma perda acima da média pudesse ser confrontado com a temperatura média do mesmo período e se pudesse analisar a correlação de uma variável e outra no período.

A perda média de junho de 2009 até dezembro do mesmo período foi de 17% contra a média dos 8 meses anteriores ao projeto de 345%. Essa melhoria representa uma diminuição da perda média de 61% um ganho financeiro superior a R\$500 mil por ano em relação ao resultado dos meses anteriores ao projeto.

Cada etapa do ciclo DMAIC tem a sua importância no processo de melhoria do processo. Neste capítulo pôde ser observado que a através da aplicação disciplinada do DMAIC de pode trazer ganhos representativos para o negócio. No próximo capítulo serão analisados os pontos positivos e negativos da aplicação do projeto.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo será apresentada a Análise crítica da aplicação do projeto, onde serão apresentados pontos positivos e negativos em diferentes tópicos.

Conforme apresentado na Figura 3.10 do capítulo anterior, a meta do indicador foi alcançada no mês de maio de 2009 e no mês seguinte o valor foi muito semelhante, o que mostra a sustentabilidade do resultado conseguido.

Acredita-se que os seguintes aspectos se tornam relevantes ao longo do processo de aplicação do projeto:

- **Equipe** – Na implementação do projeto foram envolvidas pessoas-chave do processo de nível operacional e de liderança de diversas áreas. Esse é um fator de sucesso, já que em várias etapas a análise conjunta dos membros do grupo foi importante para desenvolver um raciocínio mais completo. Principalmente nas fases de levantamento das possíveis causas-raiz, na validação das causas-raiz, na análise de viabilidade de implementação das soluções e na decisão das soluções que seriam implementadas e como seriam implementadas. No entanto, como foram escolhidas pessoas de diferentes áreas a presença e pontualidade dos membros do grupo é mais difícil de acontecer. Uma redução no número de pessoas envolvidas pode gerar uma maior efetividade na reunião. Independente da quantidade de pessoas é imprescindível o envolvimento e disciplina dos participantes, objetivando um maior rendimento das reuniões.
- **Sustentabilidade** – A escolha de um “dono” para o indicador foi fundamental para a manutenção do resultado. O responsável deve monitorar o resultado diariamente, e no caso de observada alguma anomalia, ele deve analisar a situação mais detalhadamente para direcionar o tratamento da anomalia. Baseado nessa decisão, foi escolhido um responsável para cada indicador de rendimento. A implementação dos check-lists para identificação de anomalias no processo incorporado ao sistema SAP para emissão das ordens de inspeção foi muito importante para diminuir o tempo de resposta aos problemas no processo. A criação de um plano de manutenção para os carbonatadores foi um ponto fundamental para a sustentabilidade do resultado. Caso as ações corretivas geradas pela identificação de anomalias dos check-lists de inspeção não sejam efetivas, os técnicos que fazem a inspeção podem ficar desestimulados, podendo prejudicar os resultados alcançados. Um ponto negativo de existir um único responsável é que no caso deste responsável sair da empresa o conhecimento pode ir junto com ele.
- **Ferramentas** – Em cada uma das cinco etapas da metodologia DMAIC existem algumas ferramentas para utilização. Não necessariamente, os projetos utilizam todas as ferramentas disponíveis no ciclo de melhoria DMAIC. A escolha das ferramentas adequadas pela equipe responsável é fundamental para uma melhoria consistente nos processos. No caso do projeto aplicado, as ferramentas foram bem escolhidas e aplicadas, fator que foi importante para se alcançar resultados representativos dentro de um tempo mais curto do que o normal.
- **Recursos** - Em diversas etapas são necessários recursos para implementar o projeto. O líder do projeto precisa dominar a metodologia DMAIC, e para isso é necessário o recurso treinamento, para a implementação. Além do líder, as pessoas envolvidas no projeto precisam conhecer o DMAIC e ter um bom conhecimento das ferramentas utilizadas durante a implementação do projeto e, principalmente, das ferramentas que farão com que o resultado seja mantido após a conclusão do projeto. No caso deste

projeto, apenas o líder recebeu o treinamento de Black-belt, o que torna o nivelamento da equipe mais demorado. Outro recurso requerido é o tempo dos funcionários para o desenvolvimento do projeto. Os líderes dos envolvidos no projeto precisam disponibilizar o recurso 'tempo' de seus funcionários. Em várias reuniões não estavam presentes todos os membros do projeto, sendo esta uma dificuldade já encontrada em vários projetos implementados. Outro recurso necessário é o investimento financeiro para implementação das melhorias propostas na etapa Melhorar. Assim, o Gestor da empresa precisa disponibilizar os recursos financeiros para que as melhorias sejam aplicadas. No caso deste projeto, uma parte dos recursos financeiros havia sido estimada no ano anterior, fator que facilitou a implementação. Já o processo de compra de equipamentos não aconteceu de forma eficiente, o que atrasou a implementação de uma das melhorias propostas.

- **Oportunidades** – Durante a etapa Analisar pôde ser identificado um problema na área de manutenção. Os planos de manutenção não eram consistentes para garantir a prevenção dos problemas. As inspeções de rota existentes não eram suficientes para que fossem identificados os problemas de forma mais eficiente. Sendo assim, foram visualizados pontos de fragilidade em alguns processos. Esse ponto mostra que alguns processos básicos para a EEC ainda não estão bem estruturados.

5. CONCLUSÃO

Neste capítulo serão feitas as considerações finais do trabalho, apresentando as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros.

5.1. Conclusões

A aplicação da metodologia no contexto da pesquisa trouxe, portanto, grandes ganhos financeiros para a organização, através do alcance da meta de perda de gás carbônico.

Os resultados deste trabalho contribuíram, portanto, para o alcance dos objetivos e metas, no período estudado, traçados pela organização, uma vez que melhorias no processo de cabonatação foram conseguidas.

Além disso, a avaliação crítica da aplicação do projeto possibilitou melhorias em vários aspectos, sendo documentadas as lições aprendidas e as sugestões para trabalhos futuros.

Durante o trabalho, foi observado que a metodologia DMAIC, quando aplicada de forma estruturada, pode trazer benefícios consistentes para a empresa. Dentre os aspectos avaliados no capítulo 4 podem ser destacados a importância do líder do projeto na formação da equipe de melhoria, o treinamento dos envolvidos no processo e a disciplina durante a condução das reuniões, a escolha das ferramentas adequadas na medição e análise durante o projeto DMAIC, a disponibilidade dos recursos para execução das melhorias propostas e os controles estruturados para que os resultados alcançados sejam mantidos e que possam ser melhorados de forma sistemática e continuamente. Um grande desafio é que as áreas de apoio sejam eficientes e estejam em sinergia com os processos principais para que os resultados sejam potencializados.

5.2. Recomendações para trabalhos futuros

Por meio da experiência adquirida na aplicação deste trabalho, dos resultados nele obtidos, pode ser proposta a revisão dos processos de manutenção da EEC de forma a aumentar a confiabilidade dos equipamentos e aumento da disponibilidade.

Além disso, o ciclo DMAIC pode ser utilizado em outros rendimentos ou problemas que precisem de um método estruturado para a resolução. Tal aplicação pode gerar uma redução dos custos operacionais, aumentando a lucratividade da empresa e tornando-a melhor posicionada em relação à concorrência.

Como objetivo final deste trabalho será proposto futuros temas que possibilitem a abrangência no campo de aplicação e o estudo de outras metodologias:

- Aplicar a metodologia em empresas inseridas em outros mercados como o de saúde, energia ou serviços;
- Aplicar a melhoria em um tema semelhante utilizando um ciclo de melhoria diferente, como, por exemplo, o ciclo PDCA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, Silvio. Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa *Seis Sigma*. Nova Lima: INDG, 2006.
- McCarty, Thomas. *The Six Sigma Black Belt Handbook*. United States: McGraw-Hill, 2004
- SETEC Consulting group. Treinamento *Seis Sigma Black Belt* - Ferramentas DMAIC, 2008.
- SETEC Consulting group. Treinamento *Seis Sigma Green Belt* - Melhoria DMAIC, 2008.
- Welch, Jack. *Winning – Paixão por vencer*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- Werkema, Cristina. Avaliação de sistemas de medição. Belo Horizonte: Werkema editora, 2006.
- Werkema, Cristina. Criando a Cultura *Seis Sigma*. Belo Horizonte: Werkema editora, 2010.
- Werkema, Cristina. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Werkema editora, 2006.
- Werkema, Cristina. *Lean Seis Sigma – Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing*. Belo Horizonte: Werkema editora, 2010.