

MÁRCIO HENRIQUE BORG SOUZA

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA A REDUÇÃO DO  
CONSUMO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL NO FORNO DE CAL DE UMA FÁBRICA  
DE CELULOSE KRAFT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S729a  
2013 Souza, Márcio Henrique Borgo, 1975-  
Aplicação da metodologia seis sigma para a redução do  
consumo de óleo combustível no forno de cal de uma fábrica de  
celulose kraft / Márcio Henrique Borgo Souza. – Vicososa, MG,  
2013.

xv, 36f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Cláudio Mudado Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 27-28.

1. Indústria de celulose. 2. Six sigma (Padrão de controle de  
qualidade). 3. Fornos. 4. Celulose. I. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de  
Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de  
Celulose e Papel. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.986

MÁRCIO HENRIQUE BORGOSOUZA

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA A REDUÇÃO DO  
CONSUMO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL NO FORNO DE CAL DE UMA FÁBRICA  
DE CELULOSE KRAFT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de setembro de 2013.

---

Rubens Chaves de Oliveira  
(Membro da banca)

---

Carolina Marangon Jardim  
(Coorientadora)

---

Cláudio Mudado Silva  
(Orientador)

## **DEDICATÓRIA**

**Dedico esta dissertação aos meus queridos pais, à minha amada esposa Lívia, a minha linda filha Isabela e aos amigos do mestrado.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por conduzir a minha vida e me proporcionar bênçãos sem medidas.

Agradeço aos meus pais pelo incentivo, a minha esposa que com muita paciência e confiança apoiou e incentivou esta conquista e a minha filha Isabela, verdadeiro presente de Deus.

Ao Prof. Cláudio Mudado Silva, pela orientação, ensinamentos, incentivo, confiança e sugestões sempre oportunas.

À Dra. Carolina Marangon Jardim e ao Prof. Rubens Chaves de Oliveira, por suas participações na banca e que muito contribuíram para a melhoria da versão final deste trabalho.

Agradeço também aos demais professores e colegas de curso.

## **BIOGRAFIA**

Márcio Henrique Borgo Souza, filho de Aguinaldo Souza e Lucia Helena Borgo Souza, nasceu em Montanha-ES em 01 de julho de 1975, Brasil.

Em agosto de 1994, iniciou o curso de Engenharia Industrial Mecânica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, sendo concluído em julho de 2000.

Em setembro de 2001, iniciou o Curso de Especialização em Estatística pela Universidade Federal de Lavras – UFLA, sendo concluído em julho de 2003.

Em março de 2005, iniciou o Curso de Especialização Lato Sensu em Tecnologia de Celulose e Papel na Universidade Federal de Viçosa, sendo concluído em setembro de 2006.

Em setembro de 2011, iniciou o curso de Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel na Universidade Federal de Viçosa, sendo o mesmo concluído em setembro de 2013.

## CONTEÚDO

LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABELAS .....	VIII
LISTA DE SIGLAS .....	IX
LISTA DE DEFINIÇÃO E TERMOS TÉCNICOS.....	X
RESUMO.....	XIV
ABSTRACT .....	XV
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 SEIS SIGMA: Uma Ferramenta de Gerenciamento para Redução de Perdas em Processos Produtivos .....	2
2.2 A Utilização da Metodologia Seis Sigma.....	4
2.2.1 Definir .....	5
2.2.2 Medir.....	6
2.2.2.1 Histograma .....	6
2.2.2.2 Gráfico de Pareto.....	6
2.2.2.3 Mapa de Processo .....	7
2.2.2.4 Box Plot .....	8
2.2.2.5 Lista de Verificação.....	8
2.2.3 Analisar .....	9
2.2.3.1 Técnica dos Porquês .....	9
2.2.3.2 Brainstorming.....	9
2.2.3.3 Árvore de Tratamento de Falhas (ATF) .....	10
2.2.4 Melhorar ( <i>Improve</i> ) .....	10
2.2.5 Controlar .....	11
2.3 O Processo da Caustificação e Calcinação .....	11
3. ESTUDO DE CASO .....	13
3.2.1 Definição .....	14

3.2.2 Medição .....	16
3.2.3 Análise .....	20
3.2.4 Implementação.....	21
3.2.5 Controle .....	24
3.2.6 Retorno Financeiro.....	25
4. CONCLUSÕES .....	26
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
APÊNDICES.....	29



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Símbolo da metodologia DMAIC (Definir – Medir – Analisar – Implementar – Controlar).....	4
Figura 2 – Exemplo de histograma. ....	6
Figura 3 – Exemplo Gráfico de Pareto. ....	7
Figura 4 – Exemplo de um gráfico de Box Plot. ....	8
Figura 5 – Gráfico de acompanhamento do indicador do projeto. ....	15
Figura 6 – Mapa de Processo. ....	16
Figura 7 – Gráfico de Pareto das principais causas de parada do forno. ....	19
Figura 8 – Árvore de Tratamento de Falhas (ATF) Parcial. ....	21
Figura 9 – Gráfico de acompanhamento do indicador.....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de Verificação. ....	9
Tabela 2 – Modelo de Plano de Ação.....	11
Tabela 3 – Valores do consumo de óleo do forno de cal, no período de março de 2008 até março de 2009. ....	14
Tabela 4 – Cronograma de Implantação do Projeto.....	15
Tabela 5 – Lista de controle de consumo específico de óleo.....	18
Tabela 6 – Plano de Ação (parcial). ....	23
Tabela 7 – Cálculo do retorno financeiro do projeto.....	25

## LISTA DE SIGLAS

**\*C** – Variáveis críticas.

**5S** – SEIRI (Senso de utilização); SEITON (Senso de arrumação); SEISO (Senso de limpeza); SEIKETSU (Senso de saúde e higiene); SHITSUKE (Senso de auto-disciplina).

**5W1H** – Who, What, Where, When, Why e How.

**ATF** – Árvore de Tratamento de Falhas.

**C** – Variáveis controláveis.

**DLM** – Filtro de lavagem da lama para alimentação do forno.

**DMAIC** – Definir, Medir, Medir, Analisar, Implementar, Controlar.

**INDG** – Instituto de Desenvolvimento Gerencial.

**MI** – Melhor índice.

**MO** – Média operacional.

**MPT** – Manutenção para Produtividade Total.

**PP** – Produtos intermediários de cada micro.

**TA01** – Transportador que alimenta a lama para dentro do forno de cal.

**Xs** – Variáveis de entrada.

**Ys** – Variáveis de saída.

## LISTA DE DEFINIÇÃO E TERMOS TÉCNICOS

**5Ss** – cinco palavras japonesas, todas começadas com o som “s”, que estabelecem o ambiente cultural para a melhoria contínua e que permitem a criação de ambientes de trabalho adequados ao controlo visual e *lean production*. É um Sistema de Qualidade Total surgido no Japão que consiste em 5 etapas sendo elas o SEIRI (Senso de utilização); o SEITON (Senso de arrumação); o SEISO (Senso de limpeza); o SEIKETSU (Senso de saúde e higiene); e o SHITSUKE (Senso de auto-disciplina).

**6 Sigma** ( $6\sigma$ ) – metodologia disciplinada que, através do uso de dados provenientes do processo, reduz a variação dos processos de forma sistemática. Para tal, baseia-se num conjunto de métodos, ferramentas estatísticas e planos, para observar e gerir as variáveis críticas dos processos, bem como a relação entre elas. A metodologia  $6\sigma$  foi desenvolvida pela Motorola nos anos 1990s e rapidamente ganhou adeptos por toda a indústria e serviços norte-americanos. Atualmente é muito frequente a aplicação do  $6\sigma$  após a estabilização dos processos conseguida pela filosofia *lean thinking*. Desta forma, o termo *lean-six-sigma* tem adquirido cada vez mais popularidade ao nível empresarial. No entanto,  $6\sigma$  não deixará de ser um método de *fine-tuning* (ajuste refinado) de processos. Um nível de qualidade  $6\sigma$  corresponde aproximadamente a 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (3,4 ppm), representando elevada qualidade e mínima variabilidade do processo. Para um processo industrial ou de serviços, o valor sigma ( $\sigma$ ) é uma métrica que indica qual a capacidade do processo. Quanto mais reduzido for o valor de sigma, melhor a sua capacidade, e menos provável será a ocorrência de defeitos. Um defeito é algo que dá origem à insatisfação do cliente. O valor de  $\sigma$  mede a capacidade do processo se realizar sem erros. Assim sucedendo, aumenta a satisfação do cliente (interno e externo).

**Benchmarking** – avaliação e comparação do atual desempenho (ou perfil) de uma organização com organizações similares (ou que realizem operações similares) que são consideradas as melhores na sua classe.

**Black belts [Faixas pretas]** – são pessoas com orientação técnica de 160 horas de instrução sobre a metodologia em sala de aula, que estejam envolvidas com o processo de desenvolvimento e mudança na organização. Fundamentalmente, devem possuir conhecimentos em ferramentas técnicas, matemática e análise quantitativa e que tenham desenvolvido algum método estatístico. Os *black belts* buscam enriquecer seus conhecimentos por intermédio de todos os setores da empresa e, também, pelos sistemas informatizados nos quais estejam armazenadas as informações da organização. Para poderem desenvolver os projetos para a Seis Sigma, os *Black belts* necessitam utilizar *software* e *hardware* disponibilizados pela organização. São responsáveis pelo gerenciamento do projeto, possuem habilidades e práticas para resolver problemas e lideram os *green belts* e equipes de projetos.

**Capabilidade** – Este termo não existe em português, no entanto, utilizar o termo capacidade como tradução de *capability* é incorreto dado que capacidade mede o que um sistema é capaz de fazer (ex. peças/hora) enquanto que a capabilidade mede quanto capaz é esse sistema de produzir dentro das especificações.

**Capacidade** – é o volume de *output* que um sistema consegue realizar em condições normais, por exemplo, aquilo que o sistema é capaz de fazer. Deve ser medida em tempo (ex. horas) evitando-se unidades como, por exemplo: peças/tempo ou clientes/tempo.

**Champions e Patrocinadores** – são pessoas com um nível elevado de conhecimento que entendem todo o funcionamento da empresa e estejam comprometidas para o sucesso do projeto. Geralmente em empresas maiores, o *champion* é o vice-presidente; é ele quem treina e lidera o processo em tempo integral. Os patrocinadores, que são os proprietários do processo e do sistema, fornecem algumas ideias para melhoria deles, auxiliando na iniciação e coordenação das atividades. Os *champions* também participam do treinamento dos Green-belts [Cintos verdes]. Patrocinam e acompanham os projetos e definem a área a ser desenvolvida.

**Ciclo PDCA:** ciclo de melhoria contínua que significa “Planejar-Fazer-Verificar-Agir”. O PDCA é a descrição da forma como as mudanças devem ser efetuadas numa organização. Não inclui apenas os passos do planejamento e implementação da mudança, mas também, a verificação se as alterações produziram a melhoria desejada ou esperada, agindo de forma a ajustar, corrigir ou efetuar uma melhoria com base no passo de verificação.

**Diagrama de Causa-Efeito (Ishikawa):** também conhecido como Diagrama de Ishikawa, porque foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa (1915-1989) e como Diagrama Espinha de Peixe, devido a sua aparência. É uma representação gráfica que ajuda a identificar, explorar e mostrar as possíveis causas de uma situação ou problema específico. Cada diagrama tem uma grande seta apontando para o nome de um problema. Os ramos que saem dessa seta representam as categorias de causas, tais como: mão-de-obra, materiais, máquinas, meio ambiente, medidas, métodos. As setas menores representam itens dentro de cada categoria.

**DMAIC** – (Definir, medir, analisar, implementar, controlar) metodologia standard seguida por projetos *Six Sigma*.

**Eficiência** – É a razão entre o resultado alcançado e o valor esperado (padrão). Mede a capacidade de um sistema em alcançar os seus objetivos.

**FMEA (*failure mode and effects analysis*)** – É uma ferramenta utilizada na facilitação de processos de prevenção de falhas, planejamento de medidas preventivas, estimativas de custos causados pelas falhas e planejamento de procedimentos redundantes e de segurança ou sistemas de resposta a falhas. Analisa o potencial de falhas dos processos e atividades. Utiliza uma fórmula de cálculo, correspondente ao valor de escala da Severidade (S), Probabilidade de Ocorrência (O) e Probabilidade de Detecção (D).  $RPN = S \times O \times D$ .

**Green belts [Faixas verdes]** – são pessoas com orientação técnica de cinco dias em sala de aula, preparadas pela equipe do projeto. Estão envolvidas desde o início até o fim do processo e aptas a formar e facilitar equipes nos setores. Os *Green*

*belts* são preparados para gerenciar os projetos, utilizar metodologias gerenciais da qualidade, solucionar problemas e analisar dados descritivos. São auxiliados e treinados pelos *Black belts*, para definirem seus projetos e prestarem assistência a eles.

**Master Black belts [Mestre dos Faixas pretas]** – são pessoas com maior conhecimento técnico e organizacional e que lideram o programa. São capacitados para treinar *Black belts* [Faixas pretas] e *Green belts*, orientando-os durante os treinamentos sobre como aplicar o método de forma correta, e em alguns casos mais delicados, auxiliando-os na correção de erros. Para exercerem essa função, necessitam ter boa comunicação e competência para ensinar, além de amplo conhecimento em matemática, análise competitiva, *softwares* e *hardwares* para poderem desenvolver métodos e treinamentos estatísticos.

**Yellow belts [Faixas amarelos]** – são pessoas que trabalham na produção e que passaram por um treinamento de aproximadamente dois dias. Eles utilizam a metodologia mais simplificada possível somente para a realização de suas funções.

## RESUMO

SOUZA, Márcio Henrique Borgo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2013. **Aplicação da Metodologia Seis Sigma para a Redução do Consumo de Óleo Combustível no Forno de Cal de uma Fábrica de Celulose Kraft.** Orientador: Prof. Cláudio Mudado Silva. Coorientadora: Dra. Carolina Marangon Jardim.

Na busca de um aumento de eficiência, do desempenho e uma maior lucratividade das empresas, a ferramenta *Seis Sigma* encontra-se bastante difundida e utilizada em diversos setores de produção e serviços. Baseado em resultados encontrados, e ciente dos inúmeros benefícios que a implantação dessa ferramenta oferece, este trabalho vem demonstrar uma experiência de aplicação da metodologia *Seis Sigma* para a redução do consumo de óleo combustível em um forno de cal de uma empresa de polpa celulósica kraft. O projeto teve como meta reduzir em 6% o consumo de óleo, passando de uma média de consumo de 167 para 157 kg/t de CaO. Com a implantação das etapas referentes à ferramenta (D-definir; M-medir; A-analisar; I-implantar; C-controlar) foi possível alcançar a meta do projeto. O alcance da meta gerou um retorno financeiro anual equivalente a R\$ 3.24 milhões.



## ABSTRACT

SOUZA, Márcio Henrique Borgo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2013. **Six Sigma Application in Order to Reduce Fuel Oil Demand in the Lime Kiln of a Kraft Pulp Mill** Adviser: Prof. Cláudio Mudado Silva. Adviser: Dra. Carolina Marangon Jardim.

The *Six Sigma* has been an important management tool used in several production and services sectors in order to increase processes efficiency and provide higher profit to the corporations. This work presents a successful case of the use of this methodology in a kraft pulp mill in order to reduce the fuel oil demand in a lime kiln. The project had a goal to reduce in 6% the oil consumption in the lime kiln, i.e., reduce from an average of 167 to 157 kg/t CaO. Implementing DMAIC tool (D-define, M-measure, A-analyzing, I-improve, C-control) was possible to achieve the project goal and this achievement represented an annual financial return equivalent to approximately US\$ 1,4 million.

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por resultados mais competitivos, impulsionados por uma concorrência globalizada da economia, estimula as empresas a encontrar métodos e ferramentas que auxiliem na redução de perdas de produção nos processos internos, ou seja, melhorem a sua gestão de processos. Muitas práticas e ferramentas de qualidade, como os 5S, a Qualidade Total, o MPT (Manutenção para Produtividade Total) e a Reengenharia, já foram utilizadas e aprimoradas com intuito de se obter a estabilidade operacional e a melhoria contínua dos processos de produção.

O *Seis Sigma*, de acordo com Werkema (2004), é uma das ferramentas que atualmente está sendo amplamente difundida nas empresas como estratégia de alcance de metas, estabilidade operacional, análise e resolução de falhas e obtenção de novos clientes. As empresas que adotaram a ferramenta, encontraram no *Seis Sigma* uma forma de entender e controlar as variáveis que interferem no processo produtivo. Desta maneira, conseguem tomar decisões mais acertadas e reduzir as principais falhas dos sistemas de forma eficiente, obtendo uma melhor estabilidade dos processos e equipamentos.

Diante de tais prepostos, implementar a ferramenta *Seis Sigma* significa para uma organização oferecer serviços e produtos de primeira qualidade e, ao mesmo tempo, eliminar as principais ineficiências produtivas do sistema ou processo. Após a sua implantação, a metodologia modifica o posicionamento da empresa em relação aos seus problemas, bem como aperfeiçoar a forma de identificá-los e tratá-los.

O presente trabalho objetiva apresentar uma revisão de literatura sobre a ferramenta de gestão de processo *Seis Sigma* e apresentar um estudo de caso para redução do consumo de óleo combustível no forno de cal em uma fábrica de celulose kraft.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SEIS SIGMA: Uma Ferramenta de Gerenciamento para Redução de Perdas em Processos Produtivos

Por mesclar estatística, medida, estratégia, objetivo, visão, *benchmarking* e filosofia, a ferramenta *Seis Sigma* agrupa grande diversificação de conceitos e formas de utilização bem como a busca do “zero defeito” durante o processo de produção, serviço ou transação. Segundo Wilson (1999), sigma é uma letra grega usada na estatística para representar o desvio padrão de uma distribuição. O desvio padrão representa a quantidade de variabilidade ou não uniformidade existente em um processo, resposta ou característica.

A escala sigma é utilizada para medir o nível de qualidade associado ao produto ou processo: quanto maior o valor alcançado nessa escala melhor. Assim, o Seis Sigma é um excelente indicador, pois o processo que possua a qualidade Seis Sigma garante que 99,9999998% do seu resultado está dentro do especificado, ou seja, apenas dois defeitos por um bilhão de resultados poderiam ser encontrados (Werkema, 2004).

O conceito Seis Sigma afirma que o processo está dentro da faixa de especificação de forma que os limites superiores ou inferiores estejam distantes da média Seis Sigma e que, mesmo que este processo sofra uma variação de 1,5 sigma, ele irá gerar somente 3,4 defeitos por um milhão de oportunidades (Ramos *et al*, 2002). Deste modo, de acordo com Couto (2007), qualquer empresa que implante a metodologia tem como objetivo buscar que seus processos consigam atingir uma taxa de defeitos da ordem de 3,4 partes por milhão de oportunidades.

Conforme os postulados de Werkema (2004), o *Seis Sigma* é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo principal aumentar o lucro das empresas, pregar a otimização dos processos e produtos, resultando no incremento da satisfação de clientes e consumidores. A sua metodologia não é composta por grandes inovações nas ferramentas aplicadas, sendo estas usualmente conhecidas pelos profissionais da qualidade. Entretanto, o que torna o *Seis Sigma* único e extremamente eficaz é a estruturação do programa e o foco na redução das perdas.

Uma empresa que aplica o *Seis Sigma* é aquela que conduz projetos – previamente selecionados e priorizados – para reduzir a variabilidade dos processos e, assim, reduzir o nível de falhas ou defeitos para alcançar as especificações determinadas.

Caulcutt (2001) aponta alguns elementos essenciais para a implantação e sucesso do programa: foco em processos e nos clientes; envolvimento de todos os níveis da organização; formação de profissionais com conhecimento da metodologia; definição de projetos focados na redução de defeitos e/ou na redução de variação; gestão baseada em fatos e dados; projetos relacionados aos objetivos do negócio; gestão sênior com visão, objetivos e valores bem definidos; entendimento dos objetivos da gestão sênior abertos até o nível operacional e dos clientes.

Para elaboração do projeto, no entanto, é necessário à garantia da infraestrutura do *Seis Sigma*, ou seja, a constituição da equipe para executar o projeto que fará o cumprimento de todas as etapas a fim de atingir a meta. Pode-se dividir esta estrutura da seguinte maneira: Patrocinadores, *Master Black belts*, *Black belts*, *Green belts*, técnicos de operação e manutenção (Eckes 2001).

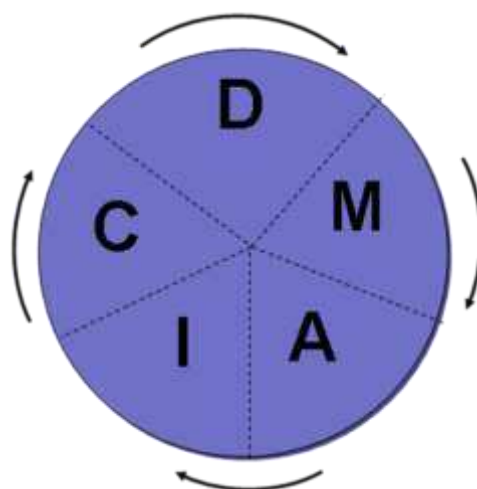
Segundo Eckes (2001), O Patrocinador é o dono do processo que teve um projeto selecionado, tem papel fundamental na remoção de obstáculos e na tomada de decisões com relação às soluções que serão geradas pelo projeto. O *Master Black Belt* é o consultor interno da metodologia, algumas empresas utilizam como um gerenciador do programa e não tem dedicação exclusiva a projetos. O *Black Belt* está envolvido no projeto 100% de seu tempo, atuam como líderes de equipe em projetos de grande impacto para organização, conduzindo o grupo através da metodologia para atingir as metas determinadas. O *Green Belt* é um líder de equipe com dedicação parcial, lideram projetos mais direcionados as suas áreas de atuação e estão sob acompanhamento do *Black belt*.

Apesar de apresentar múltiplos benefícios, existem pontos importantes que geram dificuldades na implantação do programa *Seis Sigma*. Nesse sentido, segundo Gijo e Tummala (2005), os pontos são: falta de objetivos claros do projeto; percepção de ser mais um programa de qualidade e a equipe não tratar o assunto como prioritário; critério inadequado de escolha de projetos; falta de recursos e falta de apoio; falta de coordenação entre funções; muito foco no trivial e pouco no vital; fechamento de projetos no curto prazo sem trabalho realizado; falta de dados ou

dados não confiáveis; seleção inadequada dos profissionais do programa *Seis Sigma*. Portanto, para que não gere fracasso do programa, estes pontos precisam ser considerados.

## 2.2 A Utilização da Metodologia *Seis Sigma*

O desenvolvimento de um projeto *Seis Sigma* é realizado com base em um método denominado DMAIC, que representa: Definir – Medir – Analisar – Implementar– Controlar (Werkema, 2004), como apresentado na Figura 1.



**Figura 1** – Símbolo da metodologia DMAIC (Definir – Medir – Analisar – Implementar – Controlar).

Em sua estrutura o método DMAIC utiliza ferramentas estatísticas para: (i) etapa D – Definir – define os problemas e situações que precisam de melhoria; (ii) etapa M – Medir – efetua as medições para obtenção de informações e dados; (iii) etapa A – Analisar – analisa as informações coletadas; (iv) etapa I – Implementar – incorpora e empreende melhorias nos processos; e, finalmente, (v) etapa C – Controlar – controla os processos ou produtos existentes com a finalidade de alcançar ótimos resultados e gerar um ciclo de melhoria contínua.

Baseado em Scatolin (2005), Werkema (2004), Chowdhury (2004) e Ramos et al. (2002), segue a divisão da metodologia em etapas que nos fornecem uma visão clara do que precisa ser elaborado para o atendimento da meta do projeto.

### 2.2.1 Definir

Caracteriza-se por apontar o objetivo da implementação da metodologia DMAIC e também o motivo que levou a empresa a buscar soluções para um determinado problema.

Segundo Werkema (2004), nesta etapa são definidas as seguintes questões:

- Qual o problema?
- Qual a meta a ser atingida?
- Qual é o processo relacionado ao problema?
- Qual o impacto econômico?

O ponto crucial desta etapa é definir qual o resultado que a empresa espera obter ao final da implantação da nova metodologia, qual a meta geral a ser alcançada.

Segundo Campos (1994), uma meta é elaborada considerando um objetivo gerencial (associado ao problema ou oportunidade), um valor e um prazo. Utilizando a Regra da Lacuna, bastante difundido e utilizado pelo INDG (Instituto de Desenvolvimento Gerencial), é possível traçar uma meta de produção. O método da Lacuna é baseado na seguinte equação (Werkema, 2004):

**Meta (M)** = Média Operacional (MO)  $\pm$  50 % da Lacuna, onde:

**Lacuna (L)** = Melhor Índice (MI)  $\pm$  Média operacional (MO)

A lacuna é a diferença entre o melhor índice operacional, período denominado *benchmark*, e a média operacional atual do processo.

Vale salientar que em projetos no qual objetiva-se a redução do valor médio, na aplicação da fórmula da meta utiliza-se o sinal negativo, e naqueles no qual objetiva-se aumento do valor médio, utiliza-se o sinal positivo

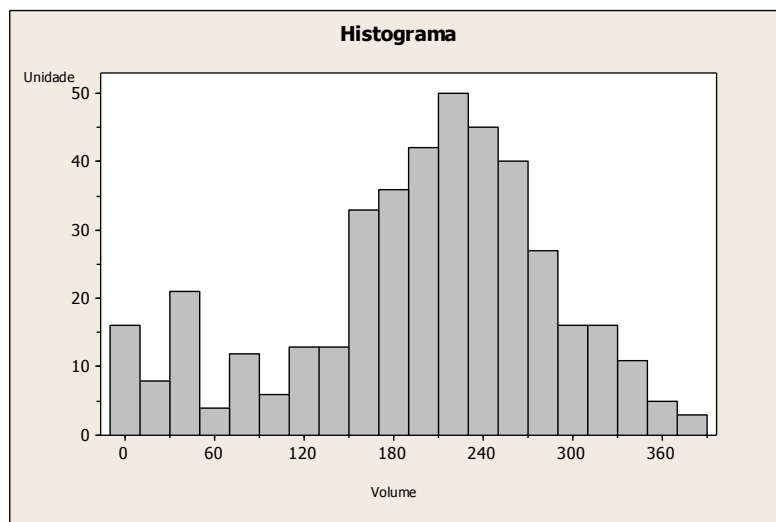
Nesta etapa é de suma importância a confiabilidade das informações, o levantamento do histórico de ocorrências de falhas em equipamentos ou processos e o impacto do projeto sobre os clientes e estratégias da empresa.

## 2.2.2 Medir

Nesta etapa devem-se identificar os focos prioritários do problema, através de desenho do processo e os sub-processos, definição de entradas e saídas, análise do sistema de medição de modo a ajustá-lo às necessidades do processo. As principais ferramentas utilizadas nesta etapa são:

### 2.2.2.1 Histograma

Segundo Ramos et al. (2002), trata-se de um tipo de gráfico como ilustrado na Figura 2, utilizado para verificar a forma da distribuição dos dados quantitativos, o valor central e a dispersão dos mesmos.



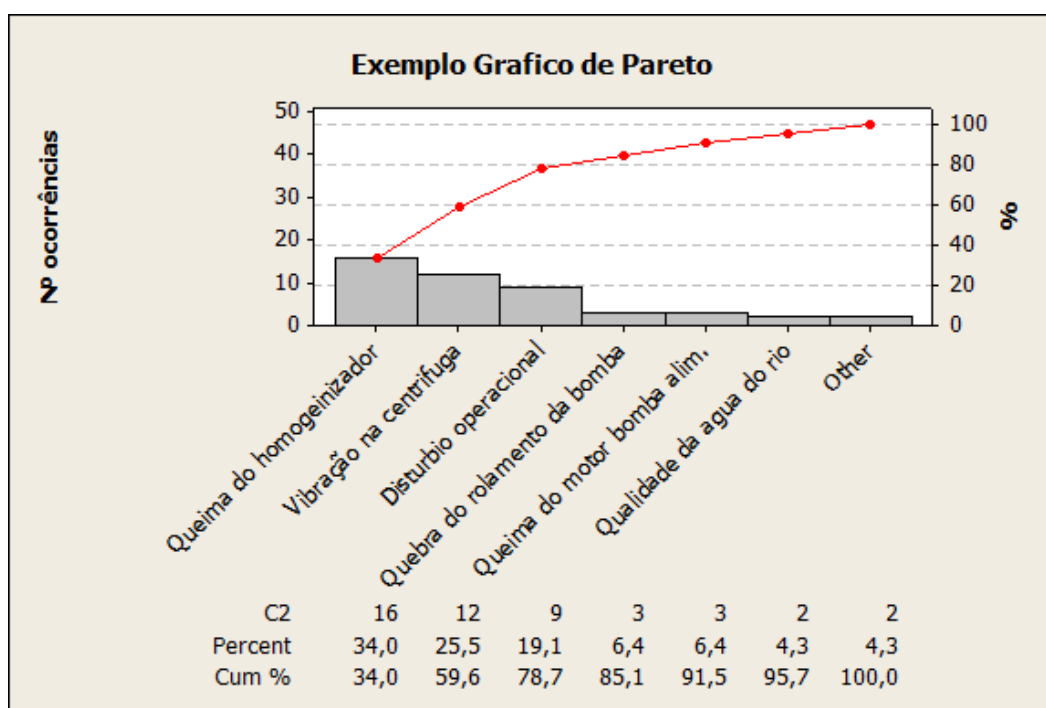
**Figura 2** – Exemplo de histograma.

### 2.2.2.2 Gráfico de Pareto

É uma descrição gráfica de dados que apresenta a informação de forma que torna evidente e visual a prioridade do problema. É possível identificar os problemas mais específicos que contribuem para o problema inicial. O Gráfico de Pareto é uma ferramenta que prioriza situações específicas em relação às características de interesse, segmentando-as, a fim de se obter conhecimento específico sobre elas. Tanto o Histograma quanto o Gráfico de Pareto são agrupados em colunas (lado a lado). O Gráfico de Pareto aplica-se a variáveis discretas, apresentando classificações, posicionadas em ordem decrescente, e uma curva de frequência

acumulada; já o Histograma é normalmente utilizado para variáveis contínuas, sem mudança de posição em função da frequência, uma vez que a posição da classe segue a ordem crescente dos valores da variável resposta (Ramos et al., 2002).

Na Figura 3 é apresentado um exemplo de Gráfico de Pareto, onde é apresentado o número de ocorrências por modo de falha de uma variável. Pelo exposto pode-se inferir que a queima do homogeneizador é o modo de falha de maior incidência, representando 34% das ocorrências, seguido pelas falhas vibração na centrífuga e distúrbio operacional, que representam 25,5 e 19,1% das ocorrências, respectivamente. Os três modos de falha supracitados representam 78,7% das ocorrências de falha.



**Figura 3 – Exemplo Gráfico de Pareto.**

### 2.2.2.3 Mapa de Processo

O Mapa de Processo é uma ferramenta utilizada para documentar o conhecimento existente do processo ou sistema. A partir do Mapa de Processo é que se tem a visualização do conhecimento do grupo e avaliação de todo funcionamento do sistema em estudo. Para sua elaboração é necessário um grande comprometimento da equipe e utiliza-se o *brainstorming* (reunião onde todos os componentes do projeto discutem e opinam sobre os principais pontos relevantes do



objeto em estudo). O Mapa do Processo consiste basicamente em descrever os processos, sub-processos ou etapas do processo; delimitar o processo; definir principais atividades; delimitar as variáveis de entrada, denominadas como os “Xs” do processo e delimitar as variáveis de saída, conhecidas como “Ys” do processo. O problema foco do projeto é dividido em problemas menores ou mais específicos.

#### 2.2.2.4 Box Plot

Box Plot é um gráfico que mostra diversas características de um conjunto de dados de variáveis que apresenta informações sobre a variabilidade e simetria desses dados (Ramos et al., 2002). Quando a distribuição dos dados é simétrica, a linha que representa a mediana estará no centro do retângulo, como exemplificado na Figura 4.

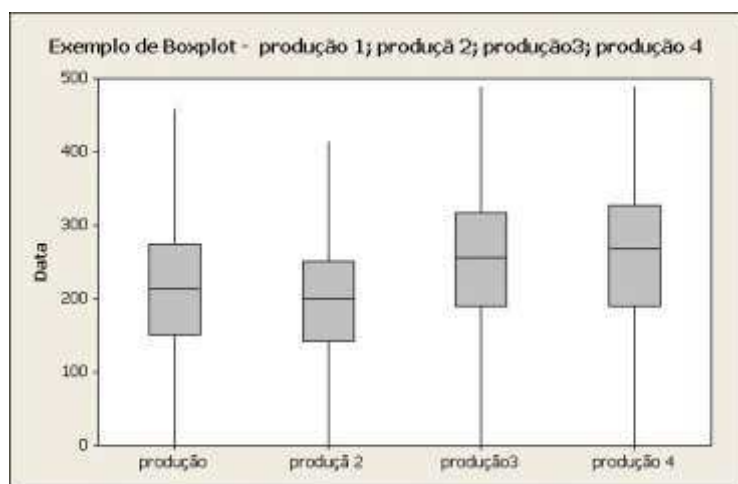


Figura 4 – Exemplo de um gráfico de Box Plot.

#### 2.2.2.5 Lista de Verificação

Segundo Werkema (2004), a Lista de Verificação permite que os dados sejam coletados de forma organizada facilitando sua análise e interpretação. A ferramenta deve ser de fácil preenchimento e os dados devem ser informados corretamente. A maneira como os dados serão coletados depende da finalidade do estudo. A Tabela 1 apresenta um modelo de Lista de Verificação.

**Tabela 1** – Lista de Verificação (Fonte: Werkema, 2004).

Tensão	Contagem
1,65	
1,64	x
1,63	
1,62	xxx
1,61	x
1,60	xxxxx
1,59	xxxxxxxxx
1,58	xxxxxxxxxxx
1,57	xxxxxxxxxxx
1,56	xxxxxxx
1,55	xx
1,54	x
1,53	
1,52	xx
1,51	x
1,50	

### **2.2.3 Analisar**

Na etapa “Analisar” identifica-se as causas fundamentais dos problemas do projeto com utilização de ferramentas de análise dos dados, que entre as principais, são apresentadas à seguir.

#### **2.2.3.1 Técnica dos Porquês**

A Técnica dos Porquês é uma ferramenta utilizada para descobrir as causas de um problema utilizando o conhecimento das pessoas sobre o assunto em questão. A técnica encaminha o raciocínio das pessoas através do questionamento dos porquês com o objetivo de descobrir as causas de anomalias de equipamentos ou processos com base no histórico e conhecimento dos participantes.

#### **2.2.3.2 Brainstorming**

Segundo Werkema, (2004), a técnica do *Brainstorming* foi desenvolvida em 1930, e considerada como a mais conhecida maneira de geração de ideias. Bastante utilizada na análise de processo, que é exatamente a etapa em que são determinadas as causas fundamentais significativas que geram o problema. A

técnica se apoia em dois princípios. O primeiro é a ausência inicial do julgamento, que requer bastante disciplina e treinamento do time envolvido. O objetivo da ausência de julgamento durante o surgimento de ideias é permitir a geração máxima destas; após a geração de ideias suficientes é que se fará o julgamento de cada uma. O segundo princípio sugere que quantidade origina qualidade, pois, quanto mais ideias, maior a chance de se encontrar a solução do problema, além de propiciar um maior número de conexões e associações às novas ideias e soluções. Após as ideias serem geradas, elas são discutidas, exploradas e priorizadas, gerando resultados em novas visões ou soluções a partir das diversas sugestões.

### 2.2.3.3 **Árvore de Tratamento de Falhas (ATF)**

É utilizada para verificação das possíveis causas primárias das falhas e a elaboração de uma relação lógica entre falhas primárias e a falha final. Vem mapear os diversos caminhos entre um modo de falha de um sistema (produto ou processo) e as diversas causas que contribuíram para sua ocorrência, que deverão ser de três tipos possíveis:

- Falha Primária: erro de projeto/conceito;
- Falha Secundária: fadiga, degradação, oxidação;
- Falha de comando: operação incorreta ou indevida.

### 2.2.4 **Melhorar (*Improve*)**

Etapa utilizada para fazer as melhorias do processo existente, atuando nas causas raízes do problema. Tem-se a prática do que foi analisado e proposto como melhoria ou eliminação de perdas e erros. Nessa etapa, a equipe do projeto interage com pessoas que executam as atividades de área e é o momento da elaboração e execução do plano de ação seguindo o 5W1H (Who, What, Where, When, Why e How) em que, basicamente:

- What – Defina **o que** será feito;
- When - Defina **quando** será feito;
- Who - Defina **quem** fará;
- Where- Defina **onde** será feito;

- Why – Esclareça **por que** será feito;
- How – Detalhe **como** será feito.

Na Tabela 2 é apresentando um exemplo de Plano de Ação seguindo o 5W1H.

**Tabela 2 – Modelo de Plano de Ação.**

Responsável: Gerente Funcional						
O que ?	Quando?	Quem?	Onde?	Por quê?	Como?	Situação
Implantar plano de preventiva	01/03/2012	Engenheiro de confiabilidade	Na caustificação	Reduzir ocorrência de quebra / falha do equipamento	Listando os equipamentos classe A e através do manual do fabricante e experiencia da área determinar o plano de manutenção.	<b>OK</b>
Executar manutenção externa somente com o fabricante do equipamento	13/03/2012	Supervisor de reparo externo	Oficina central	Garantia total da qualidade dos serviços prestados.	Todo reparo externo terá a aprovação do gerente de área e o gerente da oficina.	<b>ok</b>

### 2.2.5 Controlar

A etapa “Controlar” é responsável em avaliar o alcance da meta. Avalia o resultado obtido com as ações implementadas. Comparam-se os resultados obtidos com resultados iniciais do projeto e padronizam-se as alterações realizadas no processo. Definem-se os treinamentos necessários para sustentabilidade do projeto. Como em todo processo, as ferramentas de estatísticas também são insubstituíveis nessa etapa, para que se tenham dados concretos dos resultados de produção.

### 2.3 O Processo da Caustificação e Calcinção

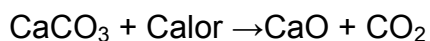
O processo de caustificação possui dois objetivos básicos e de essencial importância no processo de produção de polpa kraft, que são a produção do licor branco para o cozimento dentro das especificações requeridas para o processo e a

lavagem da lama de cal gerada durante o processo de caustificação para propiciar a sua requeima em um forno de cal.

A calcinação é basicamente o processo de conversão da lama de cal em cal requeimada. Esta reação se processa a elevadas temperaturas, acima de 800 °C, em fornos rotativos, que funcionam como reatores e como dispositivo para transferência de calor.

O processo compreende a filtragem da lama de cal, devidamente lavada, com o objetivo de se atingir elevado teor de sólidos, geralmente acima de 70%. A lama de cal filtrada é então encaminhada ao forno de cal com o objetivo de ser calcinada dando origem novamente a cal. O forno utiliza óleo ou gás como combustível, de acordo com a definição do projeto. O consumo médio de óleo combustível em fábricas brasileiras é de 155 kg/tCaO e a média entre as fábricas é de 170 kg/tCaO (RELATÓRIO INTERNO SUZANO, 2012).

Do ponto de vista químico a reação é bastante simples, representada por:



Pela reação verifica-se que a calcinação também produz dióxido de carbono que é descartado na atmosfera juntamente com os gases de combustão.

### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1 INTRODUÇÃO

O presente estudo de caso descreve a aplicação da ferramenta de gestão Seis Sigma a fim de reduzir o consumo de óleo combustível do forno de cal de uma fábrica de celulose kraft.

A empresa no qual foi realizado o estudo produz aproximadamente 1700 mil t/ano de celulose branqueada e é composta por duas linhas de produção, com dois fornos de cal. As produções dos fornos de cal, Linha 1 e Linha 2, são de 400 e 900 t/d de CaO, respectivamente, advindas da queima da lama de cal do processo de caustificação.

Foi constatado que o forno da Linha 2 estava com consumo de óleo combustível acima do praticado, não havendo um controle sistemático e tratativa adequada das ocorrências. Foram observados valores específicos de consumo na ordem 173 kg/t CaO e uma média de 167 kg/t CaO. Baseado nestas informações e pelo volume de produção do forno, ficou definida a necessidade de realização de um projeto *Seis Sigma* para a Linha 2 com o intuito de reduzir o consumo de óleo combustível.

O projeto foi desenvolvido seguindo o sistema DMAIC, no qual a metodologia sistematizada reafirma o valor do método científico, como forma eficiente de eliminar a causa raiz dos problemas para garantir a obtenção de resultados concretos.

## 3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.2.1 Definição

Na etapa de definição foi realizada a consulta ao histórico de consumo de óleo combustível de março de 2008 a janeiro de 2009 e também ao manual de operação do equipamento. Todo consumo de óleo do forno é controlado por instrumento de medição de vazão que indica o consumo instantâneo do sistema e é armazenado na central operacional da empresa. Os dados foram coletados e informados de acordo com a Tabela 3, que contribuiu para a definição da meta de consumo de óleo.

**Tabela 3** – Valores do consumo de óleo do forno de cal, no período de março de 2008 até março de 2009.

Mês		Consumo de óleo kg/t CaO
2008	Março	173
	Abril	172
	Maio	169
	Junho	166
	Julho	170
	Agosto	169
	Setembro	165
	Outubro	<b>147 (*)</b>
	Novembro	171
	Dezembro	167
2009	Janeiro	168
<b>Média</b>		<b>167</b>

(\*) Menor valor observado.

Utilizou-se o método da Lacuna para determinação da meta, onde:

**Meta (M)** = Média Operacional (MO)  $\pm$  50 % da Lacuna

**Meta (M)** = MO – 50% da lacuna

**Meta (M)** = (167) – (0,5 \* (167-147))

**Meta (M)** = 157 kg/t CaO

Utilizou-se o sinal negativo na aplicação da fórmula visto que o projeto objetiva a redução do valor do consumo de óleo. Desse modo, a meta do projeto foi

de reduzir 6% do consumo de óleo, passando de um valor de 167 kg/t CaO para 157 kg/t CaO até julho de 2009. Na Tabela 2 é observado o cronograma de realização do projeto.

**Tabela 4 – Cronograma de Implantação do Projeto**

		jan/09	fev/09	mar/09	abr/09	mai/09	jun/09	jul/09
DEFINIR	Programado		■	■				
	Realizado							
MEDIR	Programado		■	■	■			
	Realizado							
ANALISAR	Programado			■	■	■		
	Realizado							
IMPLEMENTAR	Programado				■	■	■	
	Realizado							
CHECAR	Programado					■	■	■
	Realizado							

Após definição da meta, foi definido o indicador de acompanhamento do projeto, sendo este o consumo médio mensal de óleo do forno de acordo com a Figura 5. O indicador mensal foi medido e controlado pelo coordenador do projeto (*Black Belt*) através da coleta das informações e apresentado, mensalmente, para a gerência industrial da empresa.



**Figura 5 – Gráfico de acompanhamento do indicador do projeto.**



### 3.2.2 Medição

Na etapa de Medição, o foco foi identificar e medir as variáveis que interferem no consumo de óleo do forno. Uma importante atividade desta etapa foi a realização do Mapa de Processo conforme mostrado na Figura 6. O Mapa de Processo foi construído de forma a identificar as variáveis críticas e os ruídos que interferem no consumo de óleo.

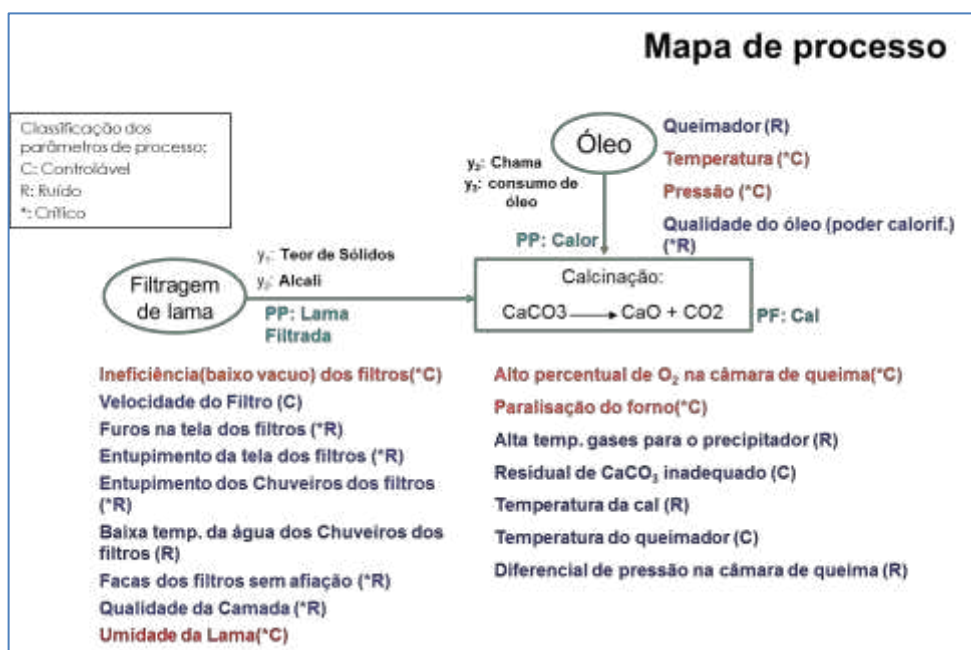


Figura 6 – Mapa de Processo.

O Mapa de Processo faz o alinhamento do conhecimento de todo o grupo que participa de sua elaboração, e com a utilização da metodologia de *brainstorming* é capaz de definir as variáveis de entrada, as variáveis de saídas, os produtos intermediários de cada micro processo (PP). Existe, ainda, a possibilidade de identificar quais as variáveis críticas (\*C) que interferem diretamente no processo de produção do forno de cal, as variáveis controláveis (C), onde necessitam de procedimento e controle para estabilização e os ruídos, itens com baixa ou nenhuma interferência no processo produtivo.

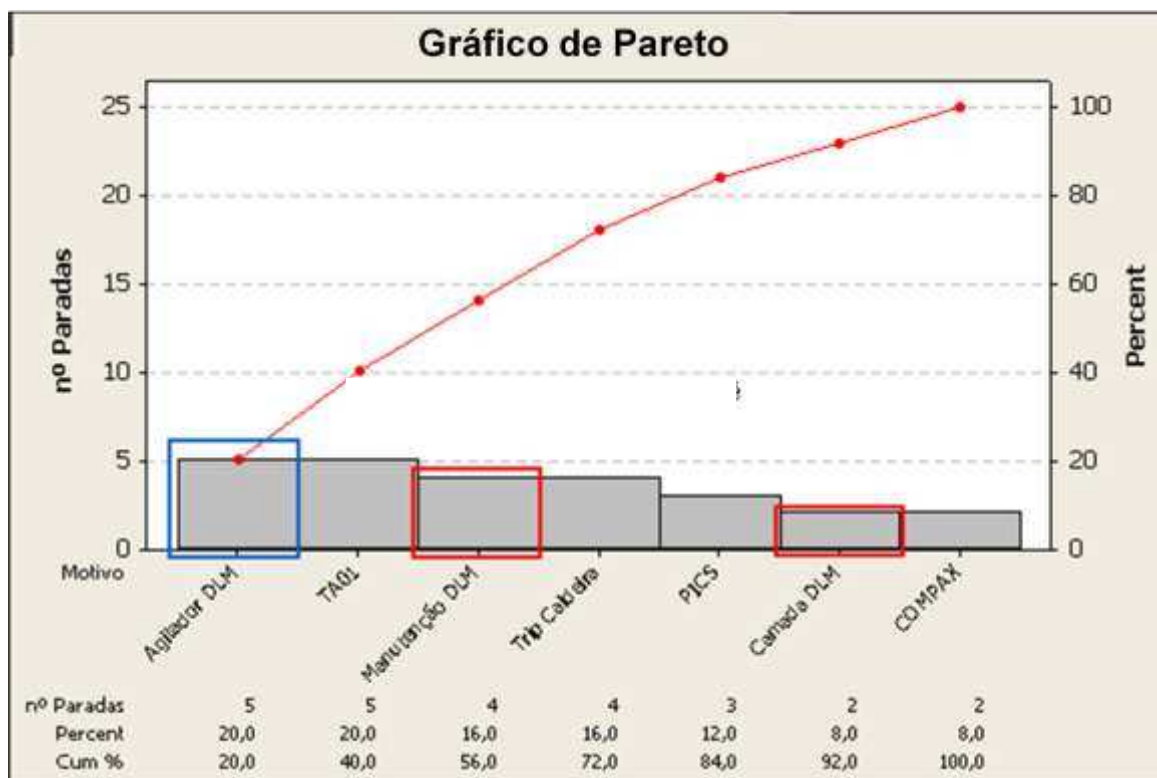
Ademais, foi realizada a implantação de uma lista de verificação para o controle das variações do consumo conforme mostrada na Tabela 5 para o melhor entendimento das tendências e ocorrências que afetavam o desempenho do forno de cal. Esta lista foi realizada pela equipe operacional do forno, onde cada operador

da caustificação ficou encarregado de relatar todo tipo de ocorrência que gerasse impacto no forno, bem como, o motivo e o consumo de óleo no período. Observa-se que as variações de consumo de óleo mais relevantes no período de estudo foram devido às paralisações do forno, onde a parada e a repartida gerava um alto consumo de óleo. Observou-se também evidências de que o consumo de óleo específico aumentava nos períodos de baixa alimentação de lama.

**Tabela 5 – Lista de controle de consumo específico de óleo.**

Controle do consumo específico de óleo - Forno de Cal 2				
Dia	Turno	Letra	Consumo específico de óleo	Motivo do desvio
			kg/t CaO	
Justificar valores fora da faixa de trabalho (< 130 e > 160)				
1-mar	00:00	D	153,82	
	08:00	A	149,49	
	16:00	B	147,92	
2-mar	00:00	C	159,46	Paradeo DLM devido desarme do agitador e para troca de setores.
	08:00	D	148,29	
	16:00	A	144,11	
3-mar	00:00	C	145,93	
	08:00	D	147,39	
	16:00	A	152,43	
4-mar	00:00	E	160,21	Parada a alimentação do Forno para troca de camada do DLM
	08:00	C	153,97	
	16:00	D	150,41	
5-mar	00:00	E	148,81	
	08:00	C	149,69	
	16:00	D	147,08	
6-mar	00:00	B	148,50	
	08:00	E	146,41	
	16:00	C	152,06	
7-mar	00:00	B	154,70	
	08:00	E	148,92	
	16:00	C	145,44	
8-mar	00:00	A	145,69	
	08:00	B	142,27	
	16:00	E	152,60	
9-mar	00:00	A	151,11	
	08:00	B	149,36	
	16:00	E	156,93	
10-mar	00:00	D	150,12	
	08:00	A	145,05	
	16:00	B	142,20	
11-mar	00:00	D	152,89	
	08:00	A	154,40	
	16:00	B	162,93	Parada a alimentação do Forno devido parada do DLM
12-mar	00:00	C	166,55	Parada a alimentação do Forno para troca de camada do DLM
	08:00	D	160,60	Parada a alimentação do Forno devido parada do DLM
	16:00	A	160,19	Parado o Forno devido trip da C/R-2, circulando óleo sem alimentação de lama;
13-mar	00:00	C	868,56	Parado o Forno devido trip da C/R-2, circulando óleo sem alimentação de lama;
	08:00	D	1284,21	Parado o Forno devido trip da C/R-2, circulando óleo sem alimentação de lama;
	16:00	A	615,66	Parado o Forno devido trip da C/R-2, circulando óleo sem alimentação de lama;
14-mar	00:00	E	151,37	
	08:00	C	154,16	
	16:00	D	158,50	
15-mar	00:00	E	151,68	
	08:00	C	145,63	
	16:00	D	200,25	Parado o PE devido perdas de parâmetros do PICS, parado o forno e circulando óleo sem alimentação;
16-mar	00:00	B	189,67	Parado o PE devido perdas de parâmetros do PICS, parado o forno e circulando óleo sem alimentação;
	08:00	E	173,84	Parado o PE devido perdas de parâmetros do PICS, parado o forno e circulando óleo sem alimentação;
	16:00	C	158,26	
17-mar	00:00	B	158,49	
	08:00	E	156,60	
	16:00	C	225,68	Parado o Forno devido quebra de duas palhetas do transportador de lama 343TA001, circulando óleo sem alimentação de lama;
18-mar	00:00	A	179,92	Parado o Forno devido quebra de duas palhetas do transportador de lama 343TA001, circulando óleo sem alimentação de lama;
	08:00	B	154,12	
	16:00	E	155,16	
19-mar	00:00	A	157,16	
	08:00	B	156,53	
	16:00	E	147,44	
20-mar	00:00	D	150,94	
	08:00	A	151,36	
	16:00	B	147,13	
21-mar	00:00	D	145,02	
	08:00	A	178,27	Forno parado (programação) para inspeção no filtro DLM, circulando óleo sem alimentação;
	16:00	B	152,96	
22-mar	00:00	C	137,75	
	08:00	D	142,36	
	16:00	A	142,71	
23-mar	00:00	C	148,65	
	08:00	D	143,72	
	16:00	A	138,78	
24-mar	00:00	E	144,16	
	08:00	C	142,63	
	16:00	D	145,33	
25-mar	00:00	E	144,70	
	08:00	C	150,38	
	16:00	D	145,82	
26-mar	00:00	B	141,52	
	08:00	E	145,20	
	16:00	C	144,55	
27-mar	00:00	B	139,25	
	08:00	E	136,28	
	16:00	C	138,00	
28-mar	00:00	A	137,20	
	08:00	B	135,27	
	16:00	E	132,62	
29-mar	00:00	A	133,32	
	08:00	B	126,58	Operando conforme necessidade operacional
	16:00	E	345,51	Parado o Forno para manutenção na roda dentada do 344TA01 (transportador de lama)
30-mar	00:00	D	734,96	Parado o Forno para manutenção na roda dentada do 344TA01 (transportador de lama)
	08:00	A	147,53	
	16:00	B	155,59	
31-mar	00:00	D	150,92	
	08:00	A	148,11	
	16:00	B		

Com o levantamento das ocorrências de paralisação do forno foi construído o Gráfico de Pareto conforme mostrado na Figura 7, a fim de identificar os principais motivos de parada do forno.



**Figura 7** – Gráfico de Pareto das principais causas de parada do forno.

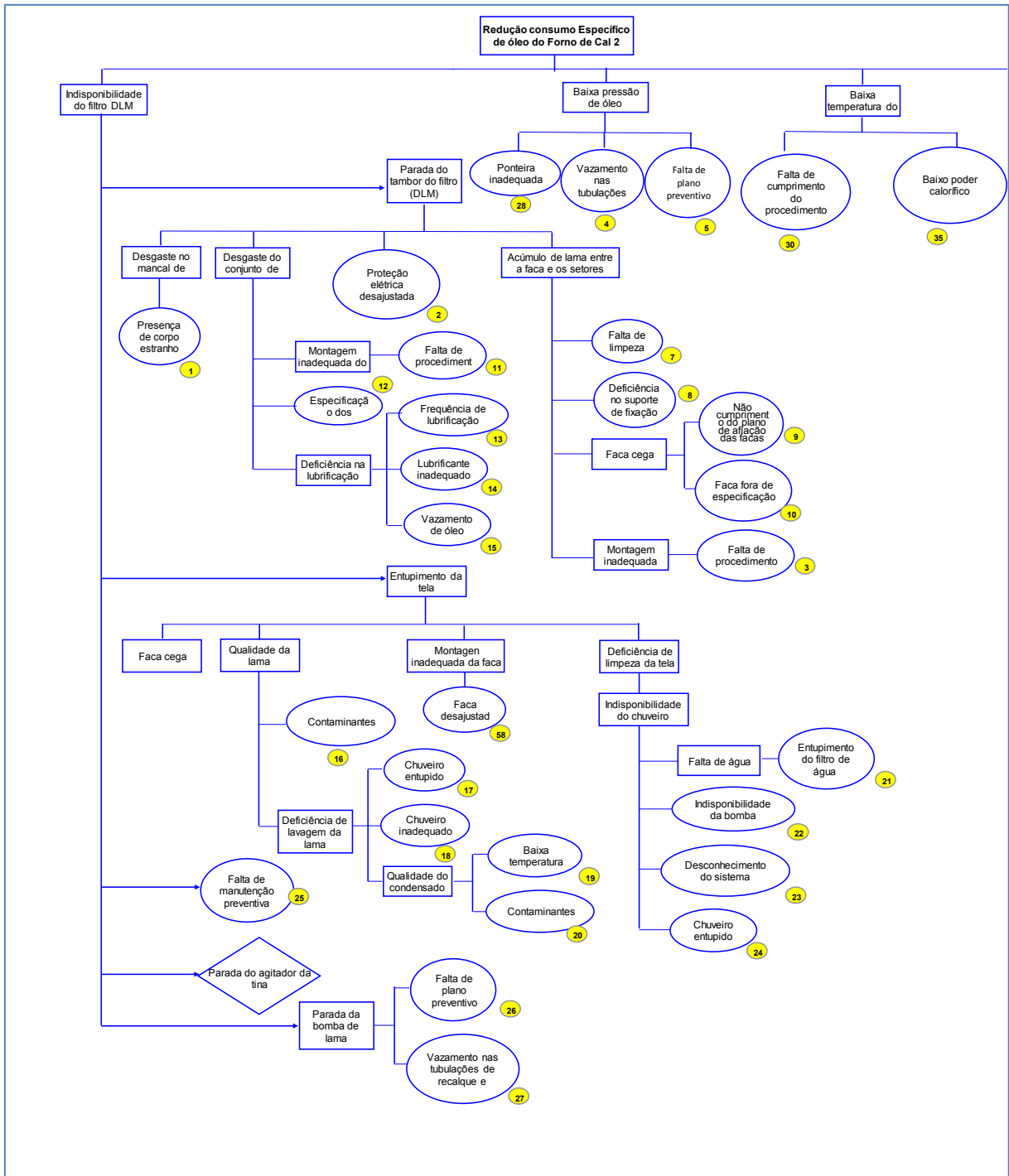
O Gráfico de Pareto vem consolidar o conhecimento das ocorrências e quebras de equipamentos que interferem no forno gerando aumento de consumo de óleo. Pode-se observar (Figura 7) que o principal equipamento que estava com alto índice de quebra (44%) era o filtro DLM (agitador DLM, manutenção DLM e camada DLM), ou seja, o filtro de lavagem da lama para alimentação do forno. O TA01 consiste no transportador que alimenta a lama para dentro do forno e influencia em 20% das ocorrências de paralisação do forno. Desta forma, constatou-se evidência de que os equipamentos DLM e TA01 necessitam de intervenção para a redução de falhas. Desse modo, ocorrendo menos paradas do forno e maior estabilidade do consumo de óleo.

### 3.2.3 Análise

Na terceira fase foi realizada a análise das causas fundamentais do problema. As causas principais levantadas para análise foram definidas baseadas no Mapa de Processo, na Lista de Verificação e do Gráfico de Pareto. Ressalta-se que após cada etapa eram realizadas reuniões com a equipe para novos *brainstormings*. Definiram-se, por fim, as seguintes causas principais:

- Ineficiência (baixo vácuo) dos filtros;
- Umidade da lama;
- Alto percentual de O<sub>2</sub> na câmara de queima;
- Pressão e temperatura do óleo;
- Paralisação do forno por quebra falhas no filtro DLM;

A partir dessas informações conjuntamente com toda a equipe de trabalho (operadores, engenheiros especialistas da área e técnicos de manutenção) foi desenvolvida, conforme demonstrado parcialmente na Figura 8, a Árvore de Tratamento de Falhas (ATF), que é apresentada na íntegra no Apêndice 1. Vale salientar que durante a execução da ATF estimulou-se a utilização da técnica dos “Porquês” para que se encontrasse uma relação lógica das falhas e as causas que contribuíram para isto.



**Figura 8 – Árvore de Tratamento de Falhas (ATF) Parcial.**

### 3.2.4 Implementação

A implementação iniciou-se com a elaboração do plano de ação seguindo o 5W1H. A Tabela 6 apresenta parcialmente as causas priorizadas e as ações definidas para a mitigação dos problemas. No Apêndice 2, encontra-se o Plano de

Ação total do projeto. Constata-se no Plano de Ação que para cada causa que interfere no consumo de óleo foi planejada uma ação.

Vale salientar que, para o presente projeto, a realização das ações definidas foi efetiva na obtenção da meta estimada do projeto. Um fator importante, que garante que falhas identificadas não reincidam é a padronização e documentação das ações, que neste projeto pode ser exemplificada pela criação do procedimento padrão de alimentação do forno de cal (Apêndice 3).

**Tabela 6 – Plano de Ação (parcial).**

Nº	Causas Priorizadas	O Qué ?	Quando?	Quem ?	Onde	Por quê	Como	Situação
1	Presença de corpo estranho no mancal	Realizar análise no óleo de lubrificação	20/03/2009	Tec. Lubrificação	343DLM	Garantir a não existência de corpo estranho no óleo, pois pode danificar o mancal parando o filtro de lama	Recolhendo material e mandando para laboratório	OK
3	Montagem inadequada dos setores	Criar procedimento para montagem dos setores	19/04/2009	Especialista	Filtros de lama	A inexistência de procedimento pode ocasionar a montagem inadequada do acionamento provocando baixo rendimento e desarme do filtro.	Elaborar procedimento e treinar os envolvidos na atividade	OK
7	Falta de limpeza da lama retida entre a faca e o tambor do filtro de lama de cal	Elaborar procedimento de limpeza	15/04/2009	Especialista	Filtros de lama	O acúmulo de lama entre a faca e o tambor pode provocar sobrecarga no acionamento dos filtros	Efetuar limpeza com água por meio da utilização de mangueiras	OK
8	Suporte de fixação das facas do filtro de lama inadequado	Ajustar suporte de fixação das facas	15/04/2009	Tec. Mecânica	Filtros de lama	Pode provocar desarme do tambor pelo aumento do atrito	Realizar estudo através do manual do fabricante e conferência no equipamento	OK
9	Facas cegas	Garantir a execução do plano de afiação ou troca das facas	16/04/2009	Supervisor	Filtros de lama	A falta de afiação prejudica o corte da lama	Cobrar a execução do plano de afiação das facas	OK
10	Facas do filtro de lama inadequadas	Verificar a especificação das facas para essa aplicação	17/04/2009	Especialista	Filtros de lama	Facas inadequadas podem comprometer o corte causando deficiência na filtragem bem como sobrecarga de acionamento do filtro	Realizar estudo através do manual do fabricante e conferência no equipamento .	OK
16	Possível presença de contaminantes na lama de cal	Monitorar a presença de contaminantes na cal virgem semestralmente.	30/04/2009	Tec. laboratório	Laboratório	A presença de contaminantes afeta a drenabilidade da lama e pode favorecer o entupimento das telas	Realização de análises em laboratório	OK
17	Entupimento dos chuveiros do filtro de lama	Realizar inspeção/limpeza dos chuveiros	30/04/2009	Oerador de área	Filtros de lama	Chuveiros entupidos não são capazes de promover boa lavagem da lama favorecendo o entupimento das telas	Elaborar procedimento para limpeza dos chuveiros e treinar os envolvidos na atividade.	OK
18	Chuveiro dos filtros DLM inadequado	Verificar a especificação dos chuveiros para essa aplicação	30/04/2009	Especialista	Filtros de lama	Chuveiros adequados promovem boa lavagem da lama evitando entupimento das telas	Consultar o fabricante	OK
19	Baixa temperatura do condensado	Verificar o melhor valor de temperatura para a operação e definir como diretriz	30/04/2009	Especialista	Filtros de lama	Baixa temperatura do condensado compromete a limpeza dos setores	Realizar estudo para verificar a temperatura ideal.	OK
20	Possível presença de contaminantes no condensado	Verificar se condutivímetro da evaporação está calibrado.	30/04/2009	Tec. laboratório	Laboratório	A qualidade do condensado interfere na filtrabilidade da lama	Calibrar instrumento	OK
21	Entupimento do filtro de água	Cumprir procedimento operacional de limpeza dos filtros	30/04/2009	Supervisor	Filtros de lama	O entupimento acarreta deficiência de limpeza da tela dos filtros	Garantir a execução do plano	OK
22	Indisponibilidade da bomba	Realizar a instalação / reposição da bomba	30/04/2009	Supervisor	Filtros de lama	Realizar a limpeza automática dos setores	Instalar a bomba no local	OK
23	Desconhecimento do funcionamento do sistema	Verificar necessidade de treinamento para operação e manutenção.	30/04/2009	Especialista	Filtros de lama	O desconhecimento ocasiona deficiência de operação, manutenção do sistema	Realizar levantamento das pessoas que não fizeram treinamento e programar treinamento junto a Metso	OK
24	Chuveito T obstruído	Realizar a limpeza nos chuveiros do	30/04/2009	Supervisor	Filtros de lama	Obstrução dos bicos compromete a limpeza automática dos setores.	Durante a parada do filtro para manutenção, realizar a limpeza dos bicos	OK
25	Falta de manutenção preventiva dos filtros de lama	Garantir cumprimento do plano.	30/04/2009	Supervisor	Programação semanal	A ausência de manutenção preventiva ocasiona indisponibilidade do filtro	Auditar execução do plano.	OK
28	Ponteira do queimador inadequada	Substituir ponteira do queimador	30/04/2009	Supervisor	Forno de cal	Desgaste da ponteira atual	Fornecedor deverá avaliar ponteira utilizada	Cancelada
30	Baixa temperatura do óleo BPF	Operar com um trocador de calor em stand-by.	30/04/2009	Especialista	Calcinação	A baixa temperatura do óleo afeta a reação de combustão	Cumprir procedimento, operando sempre com dois trocadores de calor	OK
31	Telas dos setores danificadas	Verificar especificação da tela utilizada	30/04/2009	Especialista	Filtros de lama	A deteriorização precoce da tela causa contaminação do filtrado, bem como baixa eficiência do filtro.	Consultar o fornecedor	OK



### 3.2.5 Controle

Seguindo a metodologia, é de responsabilidade do líder do projeto o acompanhamento do resultado, bem como o controle do andamento do plano de ação. Desse modo, o líder apresentou, em reuniões gerenciais mensais, o resultado através do gráfico de acompanhamento, que é exemplificado na Figura 9.

O objetivo do projeto baseou-se no alcance mensal da meta (redução de 6% no consumo de óleo no forno, ou seja, consumo equivalente a 157 kg/t de cal). Conforme observado (Figura 9), a meta do projeto foi atingida à partir de abril de 2009, cumprindo o objetivo do proposto.

Como se tratou de um projeto real de gestão e busca de resultados, quando não foi alcançada a meta definida em determinado período, como por exemplo, no mês de outubro de 2009, fazia-se necessária uma avaliação de qual ocorrência significativa impactou no desvio da meta, e a definição do que era necessário ser feito para que esta ocorrência não se repetisse, ou seja, realizada uma reavaliação das ações.

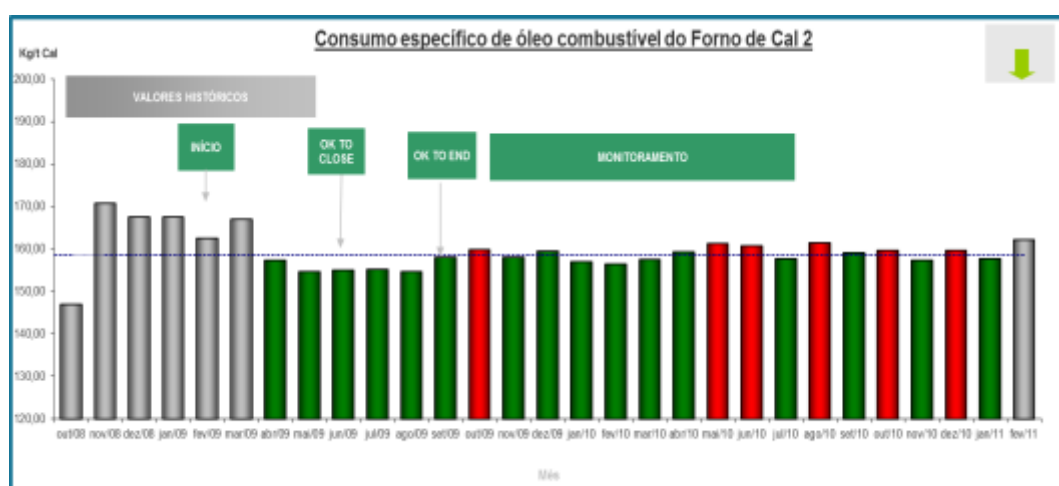


Figura 9 – Gráfico de acompanhamento do indicador.

É válido ressaltar que existem muitos fatores considerados críticos para o sucesso de um projeto *Seis Sigma*, porém pode-se destacar alguns que são de extrema importância, como: a clareza da comunicação entre os membros da equipe, a atuação do líder do projeto (*Black Belt*) que deve ter o domínio da gestão de negócios e liderança, acompanhamento disciplinado dos resultados do projeto,

demonstração do resultado com clareza e a busca pelo resultado estipulado da meta.

### 3.2.6 Retorno Financeiro

A Tabela 7 apresenta o retorno financeiro anual advindo do alcance da meta do projeto, ou seja a redução do consumo médio de óleo no forno de cal de 167 para 157 kg/t de cal. Como observado tem-se um expressivo valor de R\$ 3.240 milhões anuais. Vale ressaltar que não houve investimento para realização do projeto e, o mesmo contou exclusivamente com os recursos disponíveis.

**Tabela 7 – Cálculo do retorno financeiro do projeto.**

Custo do óleo, tonelada	R\$ 1.000,00
Consumo antes do projeto	167 kg/t de cal
Consumo após o projeto	157 kg/t de cal
Redução no consumo de óleo	10 kg/t de cal
Produção do forno	900 t cal/dia
Redução de consumo	9t de óleo/dia
	3240t de óleo/ano (considerando 360 dias de produção)
Retorno financeiro anual	R\$ 3.240.000,00

#### **4. CONCLUSÕES**

A aplicação da metodologia de gestão *Seis Sigma* se mostrou adequada para alcançar uma redução do consumo de óleo combustível no forno de cal de uma fábrica de celulose kraft. Após a implantação de todas as etapas referentes à ferramenta (D-definir; M-medir; A-analisar; I-implementar; C-controlar) foi possível alcançar a meta do projeto, que objetivou reduzir o consumo de óleo no forno de 167 para 157 kg/t de cal. O alcance da meta gerou um retorno financeiro anual equivalente a R\$ 3,24 milhões.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, V.F.. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia**. 8ª. Edição, Rio de Janeiro, 1994.

CAULCUTT, R. **Why is Six Sigma so Successful?** Journal of Applied Statistics, Vol. 28, Nos. 3 & 4, 2001, 301-306.

CHOWDHURY, S. **O poder do Seis Sigma**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: Record, 2004.

COUTO, D. A. M. **Implantação do Programa Seis Sigma em três projetos de uma empresa do setor de Papel e Celulose: um Estudo de Caso**. Dissertação. Escola de Administração de Empresas de São Paulo. São Paulo, 2007.

ECKES, George. **A Revolução Seis Sigma**. 7ª. Edição. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2001.

GIJO, E.V. e RAO, TUMMALA S. **Six Sigma Implementation – Hurdles and More Hurdles**. Total Quality Management, Vol 16, No. 6, 721-725, August 2005

RAMOS, A. W.; RIBEIRO, C. O.; MIYABE, D. I.; NAKANO, D.; LAURINDO, F. J. B.; HO, L. L.; CARVALHO, M. M.; BRAZ, M. A.; BALESTRASSI, P. P.; ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**, Editora Atlas, São Paulo, 2002.

**RELATÓRIO INTERNO SUZANO**. In: Suzano Papel e Celulose, 2012, Mucuri, 2012.

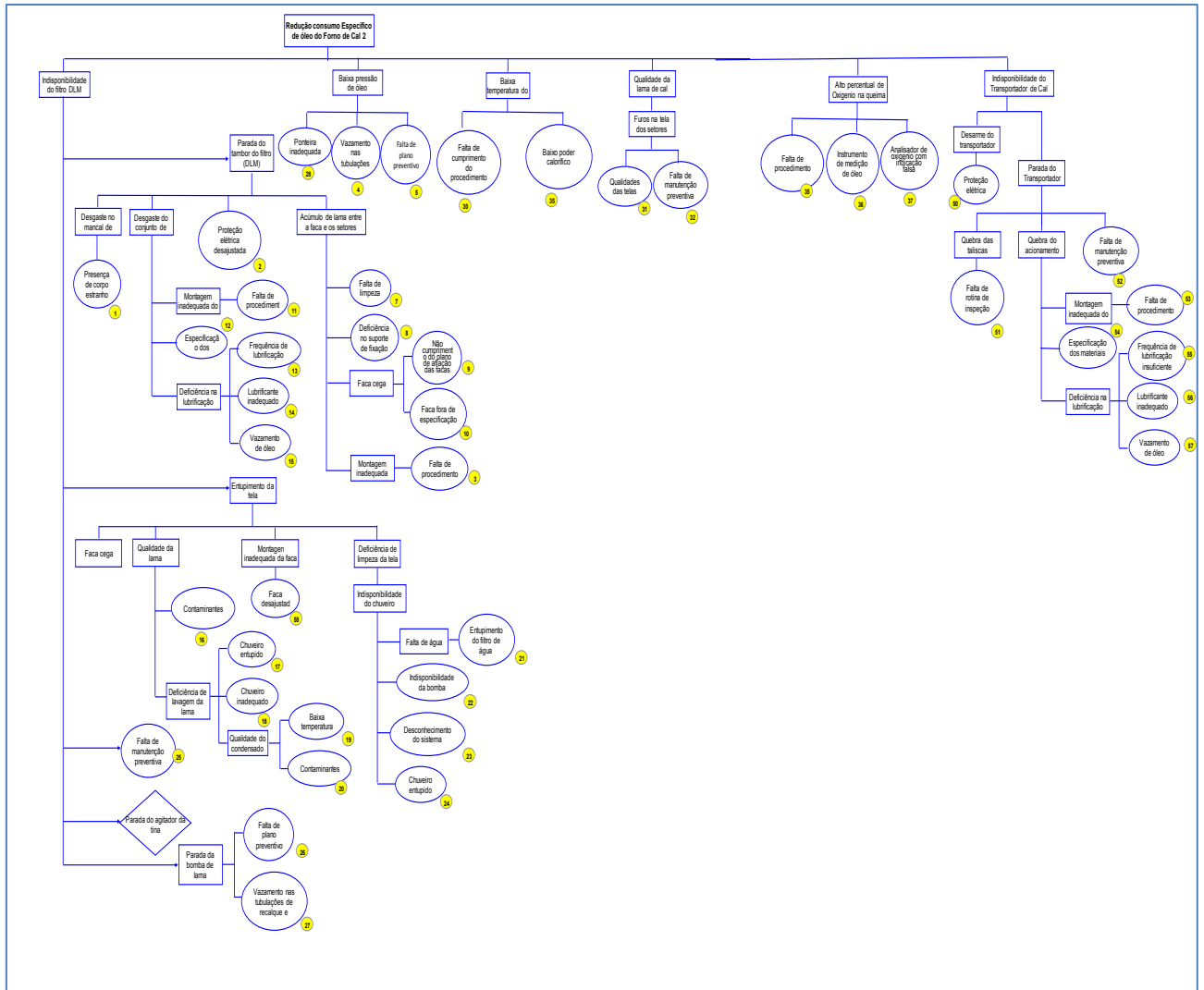
SCATOLIN, A. C. **Aplicação da metodologia Seis Sigma na redução das perdas de um processo de manufatura**. Dissertação (Universidade Estadual de Campinas), São Paulo, 2005.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Editora Werkema, Nova Lima, 2004.

WILSON, M. P. **Compreendendo o Conceito, as implicações e os desafios.**  
Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, 1999.

## **APÊNDICES**

**Apêndice 1 – Árvore de Tratamento de Falhas (ATF) total do projeto (imprimir em A3).**



## Apêndice 2 – Plano de ação total do projeto.

Nº	Causas Priorizadas	O Quê ?	Quando?	Quem ?	Onde	Por quê	Como	Situação
1	Presença de corpo estranho no mancal	Realizar análise no óleo de lubrificação	20/03/2009	Tec. Lubrificação	343DLM	Garantir a não existência de corpo estranho no óleo, pois pode danificar o mancal parando o filtro de lama	Recolhendo material e mandando para laboratório	OK
3	Montagem inadequada dos setores	Criar procedimento para montagem dos setores	19/04/2009	Especialista	Filtros de lama	A inexistência de procedimento pode ocasionar a montagem inadequada do acionamento provocando baixo rendimento e desarme do filtro.	Elaborar procedimento e treinar os envolvidos na atividade	OK
7	Falta de limpeza da lama retida entre a faca e o tambor do filtro de lama de cal	Elaborar procedimento de limpeza	15/04/2009	Especialista	Filtros de lama	O acúmulo de lama entre a faca e o tambor pode provocar sobrecarga no acionamento dos filtros	Efetuar limpeza com água por meio da utilização de mangueiras	OK
8	Suporte de fixação das facas do filtro de lama inadequado	Ajustar suporte de fixação das facas	15/04/2009	Tec. Mecânica	Filtros de lama	Pode provocar desarme do tambor pelo aumento do atrito	Realizar estudo através do manual do fabricante e conferência no equipamento	OK
9	Facas cegas	Garantir a execução do plano de afiação ou troca das facas	16/04/2009	Supervisor	Filtros de lama	A falta de afiação prejudica o corte da lama	Cobrar a execução do plano de afiação das facas	OK
10	Facas do filtro de lama inadequadas	Verificar a especificação das facas para essa aplicação	17/04/2009	Especialista	Filtros de lama	Facas inadequadas podem comprometer o corte causando deficiência na filtragem bem como sobrecarga de acionamento do filtro	Realizar estudo através do manual do fabricante e conferência no equipamento .	OK
16	Possível presença de contaminantes na lama de cal	Monitorar a presença de contaminantes na cal virgem semestralmente.	30/04/2009	Tec. laboratório	Laboratório	A presença de contaminantes afeta a drenabilidade da lama e pode favorecer o entupimento das telas	Realização de análises em laboratório	OK
17	Entupimento dos chuveiros do filtro de lama	Realizar inspeção/limpeza dos chuveiros	30/04/2009	Oerador de área	Filtros de lama	Chuveiros entupidos não são capazes de promover boa lavagem da lama favorecendo o entupimento das telas	Elaborar procedimento para limpeza dos chuveiros e treinar os envolvidos na atividade.	OK
18	Chuveiro dos filtros DLM inadequado	Verificar a especificação dos chuveiros para essa aplicação	30/04/2009	Especialista	Filtros de lama	Chuveiros adequados promovem boa lavagem da lama evitando entupimento das telas	Consultar o fabricante	OK
19	Baixa temperatura do condensado	Verificar o melhor valor de temperatura para a operação e definir como diretriz	30/04/2009	Especialista	Filtros de lama	Baixa temperatura do condensado compromete a limpeza dos setores	Realizar estudo para verificar a temperatura ideal.	OK
20	Possível presença de contaminantes no condensado	Verificar se condutivímetro da evaporação está calibrado.	30/04/2009	Tec. laboratório	Laboratório	A qualidade do condensado interfere na filtrabilidade da lama	Calibrar instrumento	OK
21	Entupimento do filtro de água	Cumprir procedimento operacional de limpeza dos filtros	30/04/2009	Supervisor	Filtros de lama	O entupimento acarreta deficiência de limpeza da tela dos filtros	Garantir a execução do plano	OK
22	Indisponibilidade da bomba	Realizar a instalação / reposição da bomba	30/04/2009	Supervisor	Filtros de lama	Realizar a limpeza automática dos setores	Instalar a bomba no local	OK
23	Desconhecimento do funcionamento do sistema	Verificar necessidade de treinamento para operação e manutenção.	30/04/2009	Especialista	Filtros de lama	O desconhecimento ocasiona deficiência de operação, manutenção do sistema	Realizar levantamento das pessoas que não fizeram treinamento e programar treinamento junto a Metso	OK
24	Chuveito T obstruído	Realizar a limpeza nos chuveiros do	30/04/2009	Supervisor	Filtros de lama	Obstrução dos bicos compromete a limpeza automática dos setores.	Durante a parada do filtro para manutenção, realizar a limpeza dos bicos	OK
25	Falta de manutenção preventiva dos filtros de lama	Garantir cumprimento do plano.	30/04/2009	Supervisor	Programação semanal	A ausência de manutenção preventiva ocasiona indisponibilidade do filtro	Auditar execução do plano.	OK
28	Ponteira do queimador inadequada	Substituir ponteira do queimador	30/04/2009	Supervisor	Forno de cal	Desgaste da ponteira atual	Fornecedor deverá avaliar ponteira utilizada	Cancelada
30	Baixa temperatura do óleo BPF	Operar com um trocador de calor em stand-by.	30/04/2009	Especialista	Calcinação	A baixa temperatura do óleo afeta a reação de combustão	Cumprir procedimento, operando sempre com dois trocadores de calor	OK
31	Telas dos setores danificadas	Verificar especificação da tela utilizada	30/04/2009	Especialista	Filtros de lama	A deteriorização precoce da tela causa contaminação do filtrado, bem como baixa eficiência do filtro.	Consultar o fornecedor	OK



32	Falta de manutenção preventiva nos setores	Cumprir plano preventivo	30/04/2009	Supervisor	Programação semanal	A ausência de manutenção preventiva evita a identificação de problemas nos setores.	Auditar execução do plano.	OK
35	Instrumentos descalibrados	Criar plano de aferição e calibração para os instrumentos	15/04/2009	Especialista	Sistema de gerenciamento o de manutenção	Instrumento descalibrado mascara a indicação de consumo específico de óleo	Verificar a classificação do instrumento para definir o plano	OK
35	Verificar qualidade do óleo utilizado no forno	Realizar análise de orgânico e inorgânicos e poder calorífico. Comparar com laudo do produto.	30/04/2009	Especialista	Laboratório	A qualidade do óleo está relacionado com o poder calorífico.	Enviar amostra para análise em laboratório externo	OK
36	Falta de procedimento operacional com as principais variáveis do processo	montar procedimento operacional com as principais variáveis do processo	15/03/2009	Especialista	painel de controle	Garantir que o operador conheça e controle as variáveis críticas do processo	Consulta ao fabricante, pesquisa em outras plantas de celulose	ok
37	Analisador de oxigênio com indicação falsa	Providenciar manutenção	15/06/2009	Tec. instrumentação	Forno de Cal	Evitar trabalhar com forno com deficiência de combustão	Programar manutenção do instrumento	OK
51	Quebra das taliscas	Verificar rotina de inspeção	30/04/2009	Supervisor	344TA001	Garantir a operação dos equipamentos	Avaliar frequência atual e caso necessário revisar rotina de inspeção	OK
52	Falta de manutenção preventiva	Garantir cumprimento do plano.	30/04/2009	Supervisor	343TA001	Aumentar a confiabilidade dos equipamentos	Auditar execução do plano.	OK
58	Facas desajustadas	Verificar o ajuste das facas e reajustá-las se necessário	18/04/2009	Supervisor	Filtros de lama	Facas desajustadas podem comprometer o corte causando deficiência na filtragem bem como sobrecarga de acionamento do filtro	Realizar estudo através do manual do fabricante e conferência no equipamento	OK
11 53	Montagem incorreta de acionamentos	Criar procedimento para montagem do acionamento	19/04/2009	Especialista	343DLM 343TA001	A inexistência de procedimento pode ocasionar a montagem inadequada do acionamento provocando desarme dos equipamentos	Elaborar procedimento e treinar os envolvidos na atividade	OK
12 54	Especificação inadequada dos materiais do acionamento dos equipamentos	Verificar especificação dos materiais do acionamento	19/04/2009	Especialista	343DLM 343TA001	A especificação incorreta dos materiais pode ocasionar desgaste prematuro do conjunto de acionamento.	Consultar o fabricante, caso incorreto recomendar substituição	OK
13 55	Frequência de lubrificação do sistema de acionamento insuficiente	Revisar rotina de lubrificação	19/04/2009	Supervisor	343DLM 343TA001	A frequência de lubrificação insuficiente do sistema pode acarretar desgaste do conjunto de acionamento	Avaliar frequência atual e caso necessário revisar rotina de lubrificação	OK
14 56	Lubrificante utilizado no conjunto acionamento inadequado	Verificar tipo de lubrificante adequado para o sistema	30/04/2009	Especialista	343DLM 343TA001	A utilização de lubrificante inadequado pode acarretar desgaste do conjunto de acionamento	Verificar no manual ou com fornecedor especificação do lubrificante a ser utilizado.	OK
15 57	Vazamento de óleo no conjunto de acionamento	Trocar juntas do acionamento e retentores.	30/04/2009	Tec. Mecânica	343DLM 343TA001	O vazamento de óleo provoca deficiência na lubrificação e consequente desgaste do conjunto de acionamento	Criar plano preventivo (SAP) de troca periódica de juntas e retentores.	OK
2 50	Proteção elétrica desajustada	Verificar as proteções elétricas e ajustá-las, caso estejam desajustadas	20/03/2009	Tec. Elétrica	343DLM 343TA001	A proteção elétrica desajustada pode causar desarme dos equipamentos causando parada do forno	Verificar set point do relé	OK
4 27	Vazamento nas tubulações de recalque e sucção das bombas	Programar retirada de vazamento e substituição de juntas	30/04/2009	Supervisor	Filtros de lama e Bomba de óleo	O vazamento provoca a perda de pressão	Garantir pressão adequada do sistema	OK
5 26	Falta de manutenção preventiva das bombas	Cumprir plano preventivo	30/04/2009	Supervisor	Programação semanal	A ausência de manutenção preventiva ocasiona indisponibilidade do filtro	Auditar execução do plano.	OK

### Apêndice 3 – Exemplo de procedimento padrão criado (padronização).

Código	Revisão	Data	Emissão	Aprovação
POP.02.867	2.0	03/04/2009	GEREU - JCR	GEREU - CRE

<b>Título:</b>
<b>ALIMENTAÇÃO DO FORNO DE CAL L2 COM LAMA - VIA SDCD – UNIDADE MUCURI</b>

<b>1</b>	<b>OBJETIVO</b>
Descrever a alimentação do forno de cal L2 com lama – via SDCD – Unidade Mucuri para viabilizar a produção de cal (CaO).	
<b>2</b>	<b>RESULTADO ESPERADO</b>
Não ocorrência de obstrução no sistema de alimentação do forno ( <i>Flash Dryer</i> ).	
<b>3</b>	<b>FREQUÊNCIA</b>
- Após qualquer parada da alimentação do forno de cal L2, desde que a ocorrência que a ocasionou tenha sido resolvida.	
<b>4</b>	<b>EXECUTANTE</b>
- Operador SDCD da caustificação L2.	

#### 5 - RECURSOS / MATERIAIS NECESSÁRIOS

Rádio de comunicação, computador com acesso à rede interna e ao PI.

#### 6 – PASSOS CRITICOS

<b>P1</b>	Tela 344T01 - Abrir <i>dumper</i> de recirculação (344DR001) em 70%.	
<b>P2</b>	Tela 344T01 - Ajustar velocidade do ventilador de tiragem (344VE002) para 70%.	
<b>P3</b>	Tela 344T01 - Abrir <i>dumper</i> de tiragem (344DR002) em 20%.	
<b>P4</b>	Tela 344T01 - Passar a rotação do forno (344HC009) de MANUAL para AUTOMÁTICO.	
<b>P5</b>	Tela 344T01 - Ajustar o fluxo do óleo (344FC055) para 2300 Kg/h.	
<b>P6</b>	Tela 344T01 - Ajustar velocidade do ventilador de ar primário (344VE001A) para 70%.	
<b>P7</b>	Tela 344T01 - Abrir <i>dumper</i> de alimentação de lama para o forno (344HV001).	
<b>P8</b>	Tela 344T01 - Inverter sentido de direção do transportador de lama (344TA001) de REVERSO para DIRETO, aguardando a liberação do intertravamento de 5 minutos.	
<b>DESVIOS</b>		
- Temperatura de entrada do precipitador (344TI004) abaixo de 280°C no momento da alimentação.		- Tela 344T01 - Aumentar em 5% a abertura do <i>dumper</i> de tiragem (344DR002).
- Temperatura de entrada do precipitador (344TI004) acima de 300°C no momento da alimentação.		- Tela 344T01 - Reduzir em 5% a abertura do <i>dumper</i> de tiragem (344DR002).
<b>P9</b>	Tela 344T01 - Aumentar <i>dumper</i> de tiragem (344DR002) em 30%, após inversão do transportador (343TA001).	
<b>P10</b>	Tela 344T01 - Após 1 minuto, alterar o <i>set-point</i> para 40% no <i>dumper</i> de tiragem (344DR002).	
<b>DESVIOS</b>		
- Temperatura de entrada do ciclone (344TI002) abaixo de 270°C.		- Tela 344T01 - Aumentar em 5% a abertura do <i>dumper</i> de tiragem (344DR002).
- Temperatura de entrada do ciclone (344TI002) acima de 350°C.		- Tela 344T01 - Reduzir em 5% a abertura do <i>dumper</i> de tiragem (344DR002).



**P18** Identificar o valor de consumo específico de óleo na aba “CÁLCULO ONLINE” da planilha “Regulagem Ar 1º - FCL2.xls”.

Status Atual		
	344FI002	
Vz. ar 1º	5901,09375	Nm³/h
	344PI020	
Pressão ar 1º	62,67773438	mbar
	344FC055	
Vz. óleo	3505	kg/h
	344FC056	
Fluxo de ar 1º	15,1	%
	344CONS_OLEO	
Velocidade do ar 1º	65,65	Nm/s
Correção da velocidade	69,7	m/s
Momento de chama (%m/s)		
	1050,9	

Pressão atm	1000	mbar
Tem. Amb.	35	°C
Posição Canhão	0,02497	m²
Lmin	10,7	Nm³/kg óleo

	Prod_cal	
Produção de cal	510,4072571	t/d

	344FC056	
Vz. Metanol	483	kg/h
Vz. Equiv. óleo	153	kg/h

	344CONS_OLEO	
Específico de óleo	161,8	kg/t

Específico de óleo + equiv. Óleo	172,0	kg/t

**Célula alterável**

P12 e P18: Aba “CÁLCULO ONLINE” da planilha “Regulagem Ar 1º - FCL2.xls”.

**P19** Digitar no campo “Consumo específico óleo + óleo eq. (kg/t)” da aba “SIMULADOR” o valor obtido na aba “CÁLCULO ONLINE”.

**P20** Identificar na coluna “Vazão de Ar 1º (Nm³/h)” a faixa de trabalho em função da produção do forno de cal.

Posição do canhão (mm)	Área transversal (m²)	Consumo específico óleo + óleo eq. (kg/t)	Vazão de Metanol (kg/h)	Posição escolhida (mm)	Momento de chama (%m/s)	Pressão do ar 1º (mbar)	Produção (t/d)	Óleo (kg/h)	Específico de óleo (kg/t)	Vazão de Ar 1º (Nm³/h)
0	0,0162	169	500	30	1050	62,2	450	3.011	161,8	5.489
5	0,0162						500	3.363	162,2	5.786
10	0,01673						550	3.715	162,11	6.068
15	0,01821						600	4.067	162,68	6.338
20	0,02039						650	4.419	163,17	6.597
25	0,02236						700	4.771	163,59	6.846
30	0,02497						750	5.123	163,95	7.086
35	0,02731						800	5.475	164,26	7.319
40	0,02968						850	5.828	164,54	7.544
45	0,03209						900	6.180	164,79	7.763
50	0,03454									
55	0,03701									
60	0,03953									
65	0,04207									

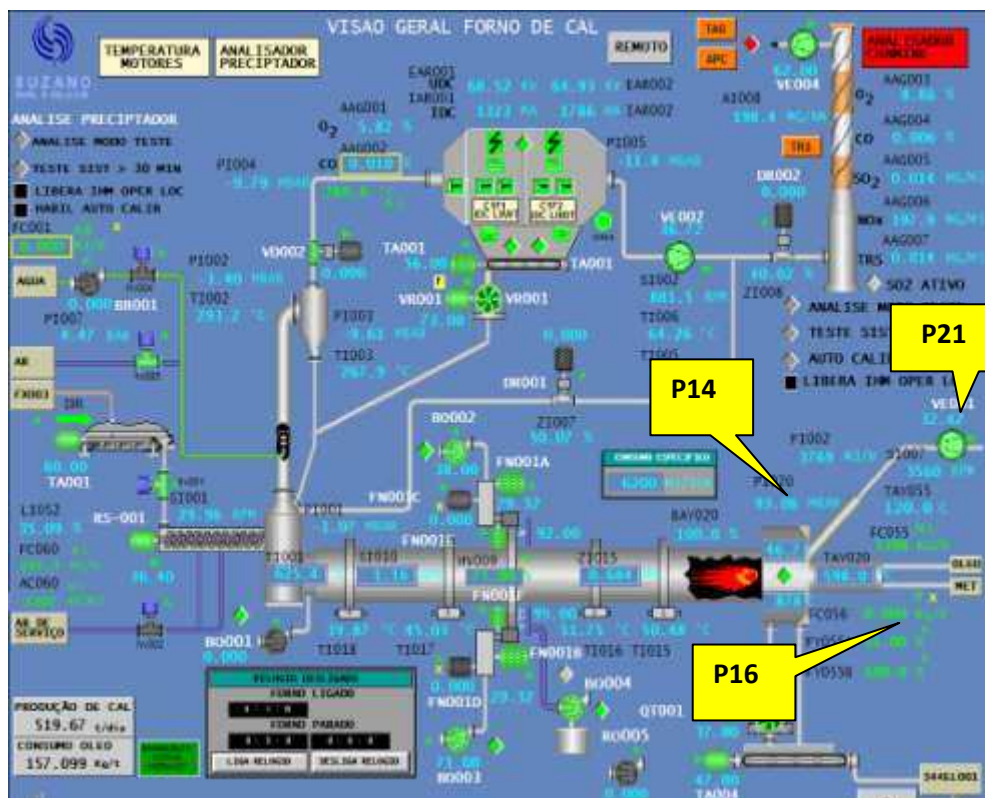
Pressão atm (mbar)	Tem. Amb. (°C)
1000	35
Lmin (Nm³/kg óleo)	
10,7	

**Célula alterável**

P13, P15, P17, P19 e P20: Aba “SIMULADOR” da planilha “Regulagem Ar 1º - FCL2.xls”.

**P21** Tela 344T01 - Ajustar vazão de ar primário (344VE001A).

**NOTA:** Após 02 (duas) horas de produção de cal pelo forno, o mesmo está liberado para queima de metanol.



P14, P16 e P21: Tela de controle do forno de cal L2.

## 7 – DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- PR.03.00802 – OPERACAO DO FORNO DE CAL - LINHA 2
- PR.03.00054 – SIMBOLOGIA DE FLUXOGRAMAS DE PROCESSO E INSTRUMENTAÇÃO
- PR.03.00055 – CODIFICAÇÃO DE ÁREA E AQUIPAMENTOS – SIMBOLOGIA
- DC.03.00014 – MATRIZ A&I - FORNO DE CAL - CAUSTIFICACAO - CONTROLE DE ODOR
- DR.03.00263 - MATRIZ DE RISCO CAUSTIFICAÇÃO E FORNO
- PR.03.00143 - ASPECTOS DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL PARA OPERAÇÃO DA CAUSTIFICAÇÃO CALCINAÇÃO E QUEIMA DE GASES

## 8 - ANEXOS

Não aplicável.