



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE
SERGIPE
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

CLAUDIENE BATISTA DE MORAES

**SEIS SIGMA: Um Estudo de Caso na Recuperação
Metalúrgica do Beneficiamento de Silvinita na Unidade
Operacional Taquari Vassouras**

**Aracaju – SE
2009.1**

CLAUDIENE BATISTA DE MORAES

**SEIS SIGMA: Um Estudo de Caso na Recuperação
Metalúrgica do Beneficiamento de Silvinita na Unidade
Operacional Taquari Vassouras**

**Monografia apresentada à
Coordenação do Curso de Engenharia
de Produção da FANESE, como
requisito parcial para a obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia de
Produção.**

**Orientador: Prof^a MSc. Sandra Patrícia
Bezerra Rocha**

**Aracaju – SE
2009.1**

CLAUDIENE BATISTA DE MORAES

**SEIS SIGMA: Um Estudo de Caso na Recuperação
Metalúrgica do Beneficiamento de Silvinita na Unidade
Operacional Taquari Vassouras**

Monografia apresentada à Banca examinadora da Faculdade de Administração e Negócio de Sergipe - FANESE, como requisito parcial e elemento obrigatório para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção no período de 2009.1

Prof^a MSc. Sandra Patrícia Bezerra Rocha
1º Examinador (Orientador)

Prof^o Esp. Kleber Andrade Souza
2º Examinador

Prof^o MSc. Mário Celso Neves de Andrade
3º Examinador

Aprovado (a) com média: _____

Aracaju (SE), 06 de julho de 2009.

“Só existe saber na invenção, na reinvenção, na busca inquieta, impaciente, permanente, que os homens fazem no mundo, com o mundo e com os outros.”

Paulo Freire

RESUMO

O presente trabalho traz como título, SEIS SIGMA: um estudo de caso na recuperação metalúrgica do beneficiamento de silvinita na Unidade Operacional Taquari Vassouras - UOTV e tem como objetivo aumentar o percentual de recuperação metalúrgica de cloreto de potássio na planta da usina de tratamento de minério da Gerência Geral de Fertilizantes da Vale em Sergipe, única produtora de potássio para uso na produção fertilizantes. Com a redução do teor de potássio no minério lavrado (silvinita) na unidade, houve uma redução na recuperação metalúrgica e conseqüentemente uma redução na produtividade, gerando perdas financeiras significativas. Com a aplicação do programa Seis Sigma, buscou-se a redução das perdas incorridas ao processo de tratamento, visando aumentar a recuperação metalúrgica. O trabalho foi fundamentado nas principais operações do processo de tratamento de silvinita e nas ferramentas de qualidade utilizadas na aplicação do programa Seis sigma, utilizando a metodologia *DMAIC*. Após a definição do escopo do projeto de trabalho, das medições das variáveis e análise do histórico do problema, foram implantadas ações de melhorias e controle para resolução do problema de recuperação metalúrgica da UOTV. Os objetivos foram alcançados a curto prazo, porém faz-se necessário um constante monitoramento e controle para continuidade dos resultados e manutenção a longo prazo.

Palavras-chave: Seis Sigma. Recuperação metalúrgica. Perdas. Potássio. Melhorias

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Fluxograma do tratamento de silvinita	22
Figura 02: Resumo da história do Seis sigma.....	34
Figura 03: Base de medição da qualidade Seis Sigma	35
Figura 04: Significado da qualidade Seis Sigma	37
Figura 05: Integração das ferramentas Seis Sigma ao <i>DMAIC</i> –etapa <i>Define</i>	39
Figura 06: Integração das ferramentas Seis Sigma ao <i>DMAIC</i> –etapa <i>Measure</i>	40
Figura 07: Integração das ferramentas Seis Sigma ao <i>DMAIC</i> –etapa <i>Analyse</i> .	41
Figura 08: Integração das ferramentas Seis Sigma ao <i>DMAIC</i> –etapa <i>Improve</i> .	42
Figura 09: Integração das ferramentas Seis Sigma ao <i>DMAIC</i> – etapa <i>Control</i> ...	43
Figura 10: Ilustração de um gráfico seqüencial	45
Figura 11: Diagrama de causa e efeito	46
Figura 12: Exemplo de um Project Chart	49
Figura 13: Ilustração de um Mapa de processo (Acabamento da UOTV)	51
Figura 14: Exemplo de um Diagrama de Árvore qualidade do produto KCL	52
Figura 15: Ilustração de gráfico de Pareto - Distribuição das Não Conformidades	53
Figura 16: Ilustração de um histograma do teor de KCl no concentrado	54
Figura 17: Ilustração de carta de controle do teor de KCl do minério alimentado	55
Figura 18: Project Charter do projeto	63
Figura 19: Fluxograma do processo onde ocorrem possíveis perdas de potássio	64
Figura 20: Diagrama de causa e efeito das perdas de potássio	65
Figura 21: Carta de controle da perda de potássio na flotação	67
Figura 22: Histograma dos teores KCl no rejeito	67
Figura 23: Carta de controle da umidade do rejeito	68
Figura 24: Histograma da umidade do rejeito da flotação	68
Figura 25: Simulador do ganho na recuperação metalúrgica	70

Figura 26: Mapa de processo das causas potenciais de perdas	71
Foto 01: Evidência da modificação no sistema de descarte da lama	77
Foto 02: Evidência da aplicação da lama sobre o filtro	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Identificação litológica da halita, sivinita, carnalita e taquidrita ..	19
Tabela 02:. Características da salmoura de Taquari Vassouras	21
Tabela 03: Métodos de concentração e propriedade diferenciadora.....	24
Tabela 04: Perdas financeiras	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Recuperação metalúrgica x Teor de KCl no minério.....	61
Gráfico 02: Histórico da Recuperação metalúrgica	61
Gráfico 03: Média da Recuperação metalúrgica	62
Gráfico 04:. Estratificação das causas potenciais de perdas de potássio	66
Gráfico 05: Correlação entre as medições de KCl no laboratório e no AIT 23-01.....	75
Gráfico 06: Redução do teor de KCl no rejeito da flotação	76
Gráfico 07: Redução da umidade no rejeito final	76
Gráfico 08: Percentual de enchimento dos moinhos	77
Gráfico 09: Resultados do projeto	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Resumo histórico da Vale	18
Quadro 02: Formulário típico de FMEA	48
Quadro 03: Tipos de carta de controle	55
Quadro 04: Fases metodológicas do DMAIC na Vale.....	58
Quadro 05: Matriz de priorização dos problemas de produção	60
Quadro 06: Resumo dos ganhos de recuperação com atingimento das metas específicas	70
Quadro 07: Causas potenciais da etapa concentrar do mapa principal	72
Quadro 08: Causas potenciais da etapa Filtrar Rejeito do mapa secundário.	73
Quadro 09: Causas potenciais x fatores causais críticos	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral	15
1.2 Objetivo Especifico	15
1.3 Justificativa	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 VALE	17
2.1.1 Unidade Operacional de Taquari Vassouras	18
2.1.1.1 extração do minério silvinita	19
2.1.1.2 tratamento do minério silvinita	20
2.1.3 Recuperação no tratamento de minério	27
2.2 Qualidade	29
2.3 Programa Seis Sigma	31
2.3.1 Histórico do programa Seis Sigma	33
2.3.2 Capacidade Sigma	34
2.4 Equipe Seis Sigma	35
2.5 Método DMAIC	37
2.5.1 <i>Define</i> (definir)	38
2.5.2 <i>Measure</i> (medir)	39
2.5.3 <i>Analyze</i> (analisar)	40
2.5.4 <i>Improve</i> (melhorar)	41
2.5.5 <i>Control</i> (controlar)	43
2.6 Ferramentas de Gerenciamento da Qualidade	44
2.6.1 5W2H	44
2.6.2 Gráfico seqüencial	45
2.6.3 Diagrama de causa e efeito	45
2.6.4 Fluxograma	46
2.6.5 Diagrama de Gantt	47

2.6.6 Brainstorming	47
2.6.7 FMEA	48
2.6.8 Project Chart	49
2.6.9 Mapa de raciocínio	49
2.6. 10 Mapa de processo	50
2.6.11 Análise de séries temporal	51
2.6.12 Diagrama de árvore	51
2.6.13 Estratificação	52
2.6.14 Gráfico de Pareto	53
2.6.15 Histograma	53
2.6.16 Cartas de controle	54
2.6.17 Análise de variância	56
2.6.18 Análise de regressão	56
2.6.19 Matriz GUT	56
3 METODOLOGIA.....	57
3.1 Fases Metodológicas	58
4 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	59
4.1 Etapa <i>Define</i>	59
4.1.1 Identificação das prioridades – Fase I	59
4.1.1.1 descrição e histórico do problema	60
4.1.1.2 perdas financeiras	62
4.1.2 Estabelecimento da meta geral – Fase II	62
4.2 Etapa <i>Measure</i>	64
4.2.1 Desdobramento do problema – Fase III	65
4.2.2 Determinação de oportunidades nas variações – Fase IV	67
4.2.3 Estabelecimento das metas específicas – Fase V	70
4.3 Etapa <i>Analyze</i>	72
4.3.1 Identificação das causas potenciais – Fase VI	72
4.3.2 Quantificação e priorização das causas – Fase VII	73

4.4 Etapa <i>Improve</i>	74
4.4.1 Teste de medida e elaboração do plano de ação – Fase VIII	74
4.4.2 Execução do plano – Fase IX	74
4.5 Etapa <i>Control</i>	79
4.5.1 Verificação – Fase X	79
4.5.2 Ações a serem executadas – Fase XI	80
5 CONCLUSÃO	82
REFERÊNCIAS.....	84

ANEXOS

1 INTRODUÇÃO

No Brasil a exploração mineral data da era colonial. As diversidades de suas riquezas minerais colocam o país em posição privilegiada no contexto mundial. Hoje é líder mundial na exploração de ferro, realizada pela segunda maior mineradora do mundo, a VALE, que possui ainda amplo portfólio em outros minerais. Um deles é o cloreto de potássio (KCl), extraído no Estado de Sergipe, que abriga importantes depósitos evaporíticos sub-superficiais. No continente, distribuem-se numa faixa costeira de algumas dezenas de quilômetros de largura, no âmbito da bacia de Sergipe/Alagoas, sendo que a jazida potássica está situada na parte ocidental desta bacia evaporítica costeira, entre os rios Sergipe e Japaratuba, a cerca de 20 quilômetros do litoral. Dados oficializados pelo Departamento Nacional de Pesquisa Mineral - DNPM, nas regiões de Taquari-Vassouras e Santa Rosa de Lima, as jazidas somam 525 milhões de toneladas, com o teor médio de 23,69% de K_2O . Estão presentes as espécies minerais: silvita (KCl), halita (NaCl), silvinita (silvita + halita), carnalita ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) e a taquidrita ($CaCl_2 \cdot MgCl_2 \cdot 12H_2O$). Outro Estado brasileiro que também possui reservas de potássio é o Amazonas, mas ainda inexploradas.

No município de Rosário do Catete-SE, desde 1985, funciona a Unidade Operacional de Taquari Vassouras - UOTV para produção de Cloreto de Potássio, composto de mina subterrânea, usina de concentração por flotação, além de unidades de secagem e compactação do concentrado e descarte de rejeito no oceano através de salmourados, sendo destinado exclusivamente para produção de fertilizantes.

O Brasil é uma potência na produção agrícola com, 388 milhões de hectares de terras agricultáveis férteis e de alta produtividade, dos quais 90 milhões ainda não foram explorados. Esses fatores fazem do país um lugar de vocação natural para a agropecuária e todos os negócios relacionados às suas cadeias produtivas e conseqüentemente a necessidade por fertilizante. O agronegócio é hoje a principal locomotiva da economia brasileira, que de acordo com dados estatísticos

do Ministério da Agricultura e Pecuária, é responsável por 33% do Produto Interno Bruto (PIB), 42% das exportações totais e 37% dos empregos brasileiros. O setor de fertilizantes encerrou o ano de 2006 com entregas totais de 20,7 milhões de toneladas de fertilizante NPK, sigla para designação da mistura dos três macro nutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

Cerca de 75% de cloreto de potássio hoje produzido em todo mundo é oriundo da concentração por flotação, onde ocorrem as maiores perdas de recuperação mineral. As mineradoras buscam constantemente a eliminação de perdas e a redução de custos de produção e variabilidades de seus processos. A produtividade é medida em função da eficiência na recuperação mineral.

Neste trabalho, será apresentada a utilização do programa Seis Sigma com o objetivo de manter os processos sob controle, após a identificação e eliminação das principais causas das perdas de silvita (cloreto de potássio), beneficiada na UOTV. Esse é um dos vários projetos de melhoria da Vale, utilizando essa metodologia. Há alguns anos a Vale vem implementando o programa Seis Sigma em suas unidades por todo o mundo.

Utilizando ferramentas estatísticas a metodologia Seis Sigma, visa à redução da variabilidade de parâmetros inerente aos processos produtivos, administrativos e de serviço, com objetivo não só de obter sucesso do negócio, mas principalmente manter esse sucesso com a melhoria contínua. A divulgação da obtenção de enormes ganhos financeiros de grandes empresas como a General Electric, Motorola e AlliedSignal/Honeywell com a metodologia Seis Sigma, despertou um interesse de ordem mundial, e o setor de mineração há muito se rendeu a esses números. No Brasil, a empresa pioneira foi o Grupo Brasmotor implementando a metodologia em 1997.

O sucesso dessa metodologia está principalmente no desdobramento de projetos prioritários, com base nos processos e nos clientes, sendo este último “o cliente” a melhor maneira de medir o desempenho e escolher o seu projeto. Segundo Pande et al. (2001, p. 16), as melhorias Seis Sigma são definidas pelo seu impacto sobre a satisfação e valores dos clientes. Daí, um dos seus mandamentos mais importantes é a mudança de cultura em todos os níveis hierárquicos da empresa, pois o cliente deve ser o foco de tudo e de todos. Alguns autores definem Seis Sigma como um novo modo de comportamento, uma nova visão: a necessidade, satisfação e sucesso do cliente.

Neste contexto, este trabalho visa contribuir com a produção do conhecimento na aplicação dessa metodologia no gerenciamento estratégico da qualidade, facilitando a identificação de problemas prioritários, e soluções implícitas na rotina de um processo de tratamento mineral, especificamente silvinita, assim como as oportunidades de melhorias no desempenho e performance com o aumento da recuperação mineral.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Aumentar a recuperação metalúrgica de cloreto de potássio no processo de beneficiamento do minério silvinita, utilizando a metodologia Seis Sigma.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar as causas potenciais das perdas de recuperação metalúrgica do processo de tratamento de silvinita;
- Avaliar os principais pontos críticos de perdas de cloreto de potássio;
- Implantar ações de mitigação dos problemas nos principais pontos críticos identificados;
- Mensurar os resultados das ações implementadas.

1.1.3 Justificativa

Nos últimos anos, poucos países tiveram um crescimento tão expressivo no comércio internacional do agronegócio quanto o Brasil, um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários. É o primeiro produtor e exportador de café, açúcar, álcool e sucos de frutas. As projeções indicam que o país também será, em pouco tempo, o principal pólo mundial de produção de algodão e biocombustíveis, feitos a partir de cana-de-açúcar e óleos vegetais. Com isso estima-se um aumento considerável no consumo de fertilizantes.

Dados do *International Fertilizer Industry Association*¹ - IFA, a demanda mundial por fertilizantes nitrogenados (N) está aumentando +1,1%, enquanto os fertilizantes fosfatados (P) e potássicos (K) contraíram 1,3% e 3,2% respectivamente nos últimos anos. O consumo mundial de fertilizantes está sendo projetado a alcançar mais de 160 milhões de toneladas, correspondendo a um aumento anual de 4,5%. Nesse contexto de crescimento favorável de todos os nutrientes, o consumo de fertilizantes está antecipando um aumento significativo em todas as regiões.

Até recentemente o Brasil era o único país a produzir potássio para fertilizantes na América Latina. Diante dessa perspectiva, hoje um dos maiores investimentos da Vale é na aquisição de reservas minerais destinadas à produção de matérias-primas para uso em fertilizantes. Tito Martins - Diretor Executivo de ferrosos e energia da Vale, em discurso sobre os novos desafios, investimentos e as aquisições da Vale na área de fertilizantes disse: "... fertilizantes fazem parte da linha de projetos e do planejamento estratégico da Vale. Identificamos uma oportunidade de atuação diferente da mineração hoje na nossa empresa, por isso temos o desafio de desenvolver os projetos de maneira mais eficiente."

Em Santa Rosa de Lima-SE já está sendo implantado o projeto de exploração de carnalita, que possui por meio de dissolução para produção de cloreto de potássio. A Unidade Piloto das pesquisas finais já está em funcionamento desde junho de 2008.

Considerando que Sergipe é o único produtor de potássio para fertilizantes no Brasil e a importância indireta desse produto na economia do país que é potência mundial nos agronegócios, o presente trabalho se justifica por essa singularidade e também pela aplicação de uma metodologia usada mundialmente, o programa seis Sigma no aumento da recuperação mineral, ou seja, aumento na produtividade, além da contribuição para o meio acadêmico, pois estudos científicos neste assunto são bastante limitados.

¹ IFA- *International Fertilizer Industry Association*: Associação Internacional da Indústria de Fertilizantes fundado em 1927 pela *International Superphosphate Manufacturers Association*, hoje com participação de 525 membros distribuídos em 85 países.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O estudo foi fundamentado nas principais operações do processo de tratamento de silvinita e nas ferramentas de qualidade aplicadas no programa Seis Sigma, utilizando a metodologia DMAIC.

2.1 Vale

A Companhia Vale do Rio Doce, hoje simplesmente Vale, possui um amplo portfólio de produtos minerais. Presente em 13 Estados brasileiros e em 32 países, nos cinco continentes, possui mais de 100 mil empregados entre próprios e terceirizados. A Vale é líder mundial na produção e comercialização de minério de ferro e pelotas, além de possuir as maiores reservas de níquel do planeta. Também é importante produtora global de concentrado de cobre, carvão, bauxita, alumina, alumínio, potássio, caulim, manganês, ferro ligas e ainda possui ativos no segmento de logística, com cerca de 28% no total do país. Atua na geração de energia no Brasil, com participação em 6 hidrelétricas em operação. Hoje é a segunda maior mineradora do mundo, com a missão de transformar recursos minerais em riqueza e desenvolvimento sustentável, orienta as ações no relacionamento com *stakeholders*¹ e na gestão dos impactos das atividades. O quadro 1 traz um resumo histórico da empresa.

Atualmente, a Vale já segue o caminho das oportunidades na área de fertilizantes com a produção de potássio em Sergipe; encontra-se em processo de implantação do projeto Bayóvar (rocha fosfática) no Peru, e conta com o desenvolvimento dos projetos Carnalita de Santa Rosa de Lima (Sergipe), Neuquen (Argentina), Evate (Moçambique), além da verticalização do Bayovar (Peru) e possíveis aquisições.

¹ *Stakeholders*: universo das partes interessadas, ou seja, relacionadas direta e indiretamente com os resultados.

1942	A Vale foi fundada pelo governo brasileiro
1949	A Vale é responsável por 80% das explorações de minério de ferro no Brasil
1953	A Vale envia o primeiro carregamento de ferro aos Estados Unidos e Japão
1966	Abertura do porto de Tubarão em Vitória
1974	A Vale se torna a maior exportadora de minério de ferro com 16% do mercado transoceânico
1981	Acontece a primeira detonação em Carajás e grande número de trabalhadores com suas famílias se mudam para a área
1982	A Vale diversifica e dá início à produção de alumínio no Rio de Janeiro através da Valesul
1986	O terminal marinho "Ponta da Madeira" em São Luis entra em operação
1997	A Vale é privatizada
1998	No primeiro ano como empresa privada aumenta o lucro em 46% sobre o resultado
2006	A Vale adquire a Inco, segunda maior mineradora de níquel do mundo
2007	A Vale adquire a AMCI e expande a mineração de carvão

Quadro 1: Resumo historio da Vale
Fonte: www.portalvale.com.br

2.1.1 Unidade Operacional de Taquari Vassouras

O “Projeto Potássio” foi implantado em 1979, pela Petromisa (Petrobras Mineração). Em 1990, a Petromisa foi extinta e em janeiro de 1992, por meio de contrato de arrendamento assinado com a Petrobras, a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), hoje VALE, assumiu o gerenciamento da mina de potássio Taquari Vassouras, através da Gerência Geral de Fertilizantes (GEFEW). A mina possui uma extensão aproximada de 185 km², com profundidade de mais de 600 metros, sendo a única produtora de cloreto de potássio no Brasil. Atualmente, toda a produção é comercializada no mercado interno, assegurando 11% da demanda brasileira do produto.

A sub-bacia de Taquari Vassouras possui uma área de aproximadamente 215 km², localizada entre os altos de Carmópolis e Siririzinho, constituindo-se dos

sedimentos das formações de Riachuelo, Barreiras e Muribeca, sendo esta última a que contem os sais de potássio lavrados na mina de Taquari. A estratigrafia tradicional não é aplicada em seqüências salíferas; normalmente utilizam-se ciclos de baixa e alta salinidade para empilhamento de secções. A seqüência evaporítica é dividida em ciclos. O ciclo de Taquari Vassouras é constituído por cinco níveis de diferentes características e com posicionamento estratigráfico bem definido. As litologias (ver tabela 1) do topo para a base são as seguintes:

- Halita bandeada composta por halitas geralmente grosseiras e ainda níveis de calcário e anidrita.
- Halita digitiforme constituída por halitas médias e com redes e lamínulas de sulfato argiloso.
- Halita fina caracterizada por apresentar halitas com estrutura fina.
- Zona potassífera, constituída por halitas grosseiras, silvinita, carnalita e níveis na ordem de centímetros de halita fina.

Tabela 1 - Identificação litológica da halita, silvinita, carnalita e taquidrita

	Halita	Silvinita	Carnalita	Taquidrita
Composição química	NaCl	KCl + NaCl	KCl.MgCl ₂ .6H ₂ O	2(MgCl).CaCl ₂ .12H ₂ O
Granulometria	fina a grosseira variados tons de cinza, vermelha	fina a grosseira	fina a grosseira	Grosseira
Coloração	devido a presença de óxido de ferro e translúcida	branco a vermelho escuro	geralmente vermelha	cinza claro a laranja
Impurezas	anidrita, carbonato de cálcio e argila	Argila	argila	não possui

Fonte: Arquivo técnico da UOTV

2.1.1.1 extração do minério silvinita

A mina subterrânea de Potássio de Taquari Vassouras entrou em operação a partir de 1986, com profundidade variando entre 430m a 640m. O método de lavra é o de câmaras e pilares longos, com seção de 4m x 8m de largura. Seu desmonte é realizado em 5 frentes de lavra, sendo quatro com mineradores contínuos de Tambor e 1 em frente a áreas com altura de lavra superior a 4

metros com desmonte por explosivos, com uma perfuratriz tipo Jumbo e LHD, possibilitando uma produção de 621.814 ton/ano. Após um processo de reestruturação e modernização, hoje a operação inicia-se com abertura de eixos de acesso - desenvolvimento para áreas de escavação de painéis de lavra – através do método de câmaras e pilares retangulares.

O acesso à mina é através de dois *shafts* (poços verticais), sendo um de produção e outro de serviço, com 5 metros de diâmetro, profundidade de 455 metros e distanciados de 254 metros. Os dois *shafts* são denominados de *shaft* de extração (poço I), para o içamento do minério e *shaft* de serviço (poço II), para transporte de pessoal, material e equipamentos.

Para o desmonte nos painéis de lavra, ou seja, para retirada do minério, são utilizados mineradores contínuos tipo *Marietta* e carros-transportadores *shuttle-cars* e alimentador-quebradores *feeder-breakers*, enquanto as galerias de desenvolvimento são escavadas por mineradores contínuos tipo Alpine, conectados com correias extensíveis. O minério é transportado das frentes de lavra para os silos de transferência através de correias transportadoras e içado por elevadores de carga *skip* até a superfície. O mesmo é estocado na praça de *ROM*, ou alimentado diretamente à usina de tratamento.

2.1.1.2 tratamento do minério silvinita

O mineral é o elemento ou composto químico resultante de processos inorgânicos naturais e de composição química definida, encontrado naturalmente na crosta terrestre. Em geral é sólido; somente a água e o mercúrio se apresentam no estado líquido em temperatura ambiente. A rocha é um agregado natural formado de um ou mais minerais, que constitui parte essencial da crosta terrestre e é claramente individualizada. O minério é associação de minerais do qual se pode extrair, com proveito econômico ou estratégico, uma ou mais de uma substância útil, sejam metais (minérios metálicos), sejam não metais ou elementos químicos. Apesar de ser escassa a distribuição de minerais possíveis de se extrair na crosta terrestre, a influência dos minerais aproveitáveis no desenvolvimento econômico-social de um país é bastante considerável.

Os bens minerais não podem ser utilizados como são minerados. Daí a necessidade de beneficiamento (tratamento), que de acordo com Luz, Possa e

Almeida (1998, p. 3), consiste de operações que visam modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma sem, contudo, modificar a identidade química ou física dos minerais.

Para a produção de fertilizantes, o potássio é extraído na forma de sais solúveis (evaporitos), como a silvinita e a carnalita. Outros minerais de potássio presentes em evaporitos marinhos são: kainita ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), langbeinita ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$), polihalita ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e leonita ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). (LEAL; MASINI; MOURA, 2005, p. 235).

O objetivo do tratamento do mineral silvinita na usina da Unidade Operacional de Taquari Vassouras é separar o cloreto de potássio (KCl) do cloreto de sódio (NaCl). Para ocorrer a separação, várias operações unitárias são necessárias, que resumidamente são: cominuição, classificação, separação sólido-líquido, concentração, secagem e compactação. O processo é por via úmida e o condutor do fluxo da usina é uma salmoura saturada de NaCl e KCl a aproximadamente 38 °C. O controle do equilíbrio químico dessa salmoura é fundamental para o bom desempenho do processo de concentração e para o fechamento do balanço material. A tabela 2 traz as características dessa salmoura.

Tabela 2 – Características da salmoura de Taquari Vassouras.

VARIÁVEIS	MAGNITUDE
Massa específica	1.230 kg/m ³
Concentração de NaCl	19,00%
Concentração de KCl	11,60%
Concentração de MgCl ₂	1,60%
Viscosidade dinâmica	1,5 cP (a 40 °C)
	2,8 Cp (a 23 °C)

Fonte: Leal, Masini e Moura (2005, p. 236)

O beneficiamento do minério lavrado inicia-se na unidade de britagem para reduzir a sua granulometria. O processo continua na unidade de concentração, composta por moinhos de barras, classificação em peneiras, flotação e separadores sólido-líquido como hidrosseparadores e centrifugação, onde o concentrado de KCl (produto semi-acabado) é obtido. A etapa seguinte é a secagem por leito fluidizado, que visa reduzir a umidade do produto semi-acabado de no máximo 5% para aproximadamente 0,5%. Atualmente, cerca de 15% do produto final é classificado

como cloreto de potássio tipo “*standard*” (produto farelado com granulometria inferior a 1,2 mm), é encaminhado para o galpão de estocagem, enquanto os 85% restantes são enviados para a unidade de compactação, para obtenção do cloreto de potássio tipo granulado, que é estocado em um galpão para posterior expedição. Ambos os produtos têm o mesmo teor em KCl (aproximadamente 93%), porém, com diferente distribuição granulométrica.

Resumidamente, as operações unitárias do tratamento de silvinita são: cominuição, concentração, secagem e compactação, além de deslamagem, filtração e dissolução do rejeito para descarte por salmourado. A figura a seguir ilustra o fluxograma do processo.

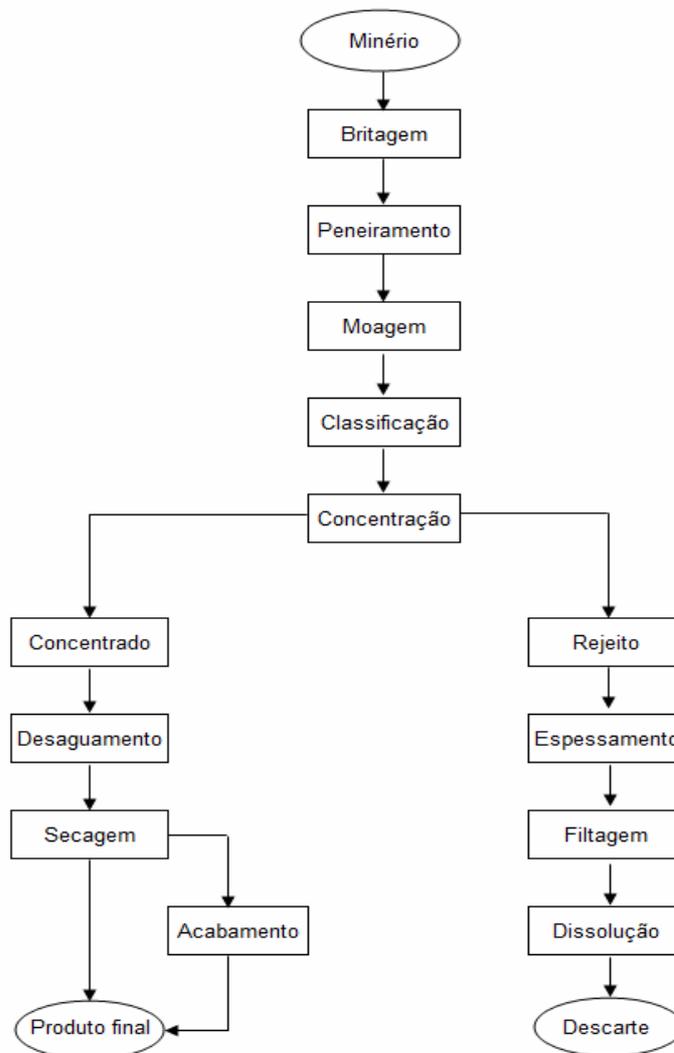


Figura 2: Fluxograma do tratamento de silvinita
 Fonte: Adaptado de LUZ, PESSOA E ALMEIDA (1998).

- **Cominuição:**

É o processo de redução granulométrica do minério proveniente da mina. Nesta etapa, tem-se as operações de britagem e moagem. Dois britadores de impacto e duas peneiras vibratórias trabalham em paralelo para produzir 500 ton/h de material britado. O processamento é feito a seco e o minério é reduzido desde dezenas de polegadas até uma polegada de diâmetro (1 polegada = 25,4mm).

O minério proveniente da mina alimenta um britador de impacto. O produto desse britador alimenta uma peneira vibratória. O material retido na peneira retorna para o britador, fechando o circuito. O material passante na peneira é enviado para a próxima etapa de cominuição.

A moagem é a segunda e última etapa de redução granulométrica, agora à úmido, com salmoura. Salmoura é a mistura de água, NaCl e KCl que constitui o líquido de processamento mineral. Três moinhos de barras trabalham em paralelo para processar juntos 435 ton/h. O objetivo é reduzir o tamanho da partícula mineral de 1 polegada para 1,2mm. Para assegurar a redução granulométrica, peneiras estáticas (tipo DSM) estão instaladas depois da moagem. As peneiras fecham o circuito de moagem, ou seja, garantem que somente vão para a etapa seguinte a partículas menores que 1,2mm.

- **Concentração:**

A concentração é a etapa mais importante no tratamento de minérios, sendo a flotação a operação mais utilizada atualmente. Para uma flotação eficiente são necessárias duas condições básicas: a liberabilidade ou grau de liberação que consiste da separação física das espécies minerais, e diferenciabilidade, para que haja a seletividade. A tabela 3 traz os métodos de concentração e propriedade diferenciadora de tratamentos minerais. De acordo com Peres e Araújo (2005, p. 1), flotação em espuma ou simplesmente flotação, é um processo de separação aplicado a partículas sólidas que explora diferenças nas características de superfície entre as várias espécies presentes.

Tabela 3 – Métodos de concentração e propriedade diferenciadora

PROPRIEDADES	MÉTODOS
Óticas (cor, brilho, fluorescência)	Escolha ótica (manual ou automática)
Densidade	Líquido denso, meio denso, jigues ² , mesas, espirais, cones, ciclones de meio denso, baterias, calhas, calhas estranguladas, classificadores, hidrosseparadores, etc.
Forma	Idem métodos baseados na densidade
Susceptibilidade magnética	Separação magnética
Condutividade elétrica	Separação eletrostática ou de alta tensão
Radioatividade	Escolha com contador
Textura/friabilidade	Cominuição seguida de classificação, ou hidrosseparação, ou peneiramento.
Reatividade química	Hidrometalurgia
Reatividade de superfície	Flotação, agregação ou dispersão seletiva, eletroforese, aglomeração esférica

Fonte: Peres e Araújo (2005, p. 3).

A separação se dá pela adição de reagentes coletores, depressores, modificadores e estabilizantes. O coletor (acetato de amina hidrogenada) adere às partículas de KCl, tornando-as hidrofóbicas (sem afinidade com meios líquidos). O depressor (amido de milho ou mandioca) adere às partículas de NaCl, reforçando sua hidrofiliabilidade (afinidade com meio líquido). O modificador (hidróxido de sódio) controla o pH ideal do meio (5 a 6) e o estabilizante (metil-isobutil-carbinol) garante a estabilidade das bolhas. As bolhas são geradas por agitadores eletromecânicos que também têm a função de manter a polpa em suspensão, de forma homogênea, facilitando os contatos entre reagentes, partículas, bolhas e salmoura. O cloreto de potássio flotado segue para separação sólido-líquido em centrifugas, onde será desaguado até umidade de no máximo 7%.

² Jigues: equipamento para separar materiais de densidades diferentes (minérios, carvões, p. ex.) mediante o movimento alternado, vertical, de uma corrente de líquido, que faz sobrenadar o material mais leve e submergir o mais pesado.

- Secagem:

O concentrado proveniente da concentração, com umidade entre 5 e 7%, precisa ser secado antes de ser enviado para as próximas etapas. Utilizando um secador de leito fluidizado (leito este formado com o próprio concentrado), a secagem se dá pela percolação de vapor quente através do minério. Esse vapor quente é gerado pela queima de gás natural.

O produto das centrífugas é alimentado na secagem por meio de roscas helicoidais que conferem ao mesmo o impulso suficiente para cair, de forma distribuída, sobre o leito fluidizado. O minério é então percolado pelo vapor que troca calor com o mesmo, secando-o. O concentrado seco é enviado para a etapa de compactação para formação do granulado (produto principal) e/ou destinado ao galpão como *standard* (segundo produto em importância). O vapor, contendo particulados finos de minério, é ciclonado e enviado para o lavador de gases, onde é lavado e toda partícula fina é dissolvida e enviada de volta para o circuito de concentração, em forma de salmoura de processo.

- Compactação:

Para ser misturado com o nitrogênio e fósforo, formando o fertilizante (mistura NPK), o KCl precisa ser granulado entre 1 e 4mm. Para isso, é preciso compactá-lo, pois sua granulometria até esta etapa é inferior a 1,2mm. Compactar significa agregar as partículas através de pressão, formando uma placa com densidade próxima à densidade natural do minério, para depois quebrá-la e peneirá-la, objetivando enquadrar os grãos formados na faixa de especificação do mercado (entre 1 e 4mm).

O produto seco alimenta cinco linhas de compactação (capacidade nominal de 22 ton/h por linha). Cada linha é formada por um compactador, dois britadores (primário e secundário) e quatro peneiras eletromagnéticas (2 primárias e 2 secundárias). O minério passa por rolos compactadores, onde é formada uma placa. A placa é britada (britador primário) e enviada para o peneiramento primário (malha de 4mm). O passante alimenta as peneiras secundárias e o retido é direcionado para o britador secundário cujo produto retorna para o peneiramento primário, fechando o circuito. O produto das peneiras secundárias (malha de 2mm) é o material retido em sua tela, pois está entre 2 e 4mm; o material passante retorna para a carga circulante, que alimentará novamente os rolos compactadores.

O produto granulado segue para o galpão de estocagem, onde fica armazenado até o carregamento de caminhões, que transportam o cloreto de potássio para o cliente.

- Deslamagem:

A formação dos evaporitos, ao longo dos milhões de anos, é constituída por camadas. Uma camada de sal da água evaporada, uma camada de partículas de solos rochosos das intempéries (na maioria quartzos e silicatos insolúveis), outra camada de sal e assim sucessivamente. O minério de silvinita possui, em sua composição, aproximadamente 1,5% desses insolúveis. No processo de beneficiamento, esses resíduos vão se acumulando sendo necessárias operações para retirá-los, chamada de deslamagem, com o uso de separadores sólidos-líquidos hidrosseparadores, espessadores, hidrociclones e decantadores.

As partículas de resíduos insolúveis são muito finas e são arrastadas com a salmoura facilmente durante o processo. Após a empolpagem do minério, moagem e classificação nas peneiras secundárias, o fluxo segue para o hidrosseparador, onde o *overflow*³ que é a salmoura carregada de lama (insolúveis) do processo após receber floculante a base de polímero é clarificada do decantador. O *underflow*⁴ do decantador é então bombeado com aproximadamente 50% de sólidos para descarte no salmouroduto.

- Filtragem:

Todo tratamento mineral gera o mineral de ganga (rejeito). O rejeito do processo de flotação da UOTV é uma polpa de cloreto de sódio, contendo aproximadamente 40% de sólidos. O líquido da polpa é salmoura saturada e deve ser recuperada. Sendo assim, para minimizar a perda de salmoura que contem 11% de KCl, a polpa é filtrada em filtro de esteira e a salmoura recuperada é reutilizada como líquido de processamento mineral. Perda de salmoura, ou seja, descarte de rejeito com alto teor de umidade, implica em altas perdas na recuperação mineral.

A polpa proveniente do rejeito da flotação é bombeada para uma bateria de hidrociclones. Os hidrociclones desaguam o material até a faixa de 60% de

³ *Overflow* : fluxo que sai por baixo, designado para material em forma de polpa, em equipamentos de separação sólido-líquido, aplicados na indústria de mineração.

⁴ *Underflow*: fluxo que sai por cima, designado para material em forma de polpa, em equipamentos de separação sólido-líquido, aplicados na indústria de mineração.

sólidos e alimentam um filtro de esteira a vácuo. Nele, a salmoura é succionada e bombeada de volta para a concentração, para compor o estoque de salmoura de processo, enquanto a torta de rejeito final, contendo aproximadamente 93% de sólidos, é encaminhada para descarte após a dissolução.

- Dissolução:

Para que seja descartado o rejeito final da filtragem precisa ser dissolvido. Essa dissolução é feita com salmoura insaturada recebida da Petrobras. Trata-se de um processo controlado, onde a salmoura insaturada (densidade aproximada de 1,04 ton/m³) é adicionada de forma ascendente em contra-fluxo com o rejeito, em tanques cilíndricos (dissolvedores), de forma que no *overflow* dos tanques, tenha apenas salmoura saturada (densidade aproximada de 1,21 ton/m³) e no *underflow* um fluxo pequeno de resíduos insolúveis, que será destinado à barragem de deposição de resíduos.

- Salmouroduto:

A salmoura saturada na etapa de dissolução é bombeada através de dutoviário (salmouroduto) até o mar. O salmouroduto tem a extensão de 37km, sendo 2km de emissário submarino. O bombeamento é feito por três bombas localizadas na usina e mais duas bombas localizadas a cerca de 28km da usina. A vazão de bombeamento média é da ordem de 1200 m³/h.

2.1.3 Recuperação no tratamento de minério

O beneficiamento mineral é a combinação de várias operações unitárias com o objetivo de separar o mineral de interesse do mineral de ganga (rejeito). Essa separação jamais será perfeita, ou seja, um percentual de mineral de ganga sempre estará presente no produto final. O rejeito do processo terá em sua composição um percentual de mineral de interesse, caracterizando as principais perdas produtivas, ou seja, diminuição da recuperação metalúrgica.

Lavousier descobriu que em uma reação química a massa dos reagentes era igual a massa dos produtos e deu origem a lei da conservação da massa, provando que a matéria poderia ser transformada, mas nunca criada ou destruída. Na indústria de transformações, essa lei é conhecida e usada para o balanço de

massa. Em sistemas que não ocorrem transferência de calor, as massas de entrada são iguais às massas de saída. Este princípio é a base para quantificação de perdas de um processo.

A chave de sucesso de uma indústria de tratamento mineral são as recuperações. Se elas forem baixas, a inviabilidade econômica do negócio se torna evidente. Em mineração, o desempenho do processo é medido através dos cálculos de recuperações que podem ser: mássica, metalúrgica e em produto, fundamentados no balanço de massa ou material. Segundo Índio (2004), balanço material é a raiz da solução da maioria dos casos de engenharia química.

O cálculo da recuperação mássica desconsidera o metal de interesse contido nas massas e essas massas são sempre consideradas em base seca.

$$R_{\text{mas}} = \frac{\text{Massa Produzida}}{\text{Massa Alimentada}} \times 100$$

O cálculo da recuperação em produto desconsidera o metal de interesse na massa do produto e a considera na massa alimentada.

$$R_{\text{prod.}} = \frac{\text{Massa de Produto}}{\text{Massa de KCl Alimentada}} \times 100$$

$$R_{\text{prod.}} = \frac{\text{Massa de Produto}}{\text{Massa de Alimentação} \times \text{Teor de Alimentação}} \times 100$$

O cálculo da recuperação metalúrgica considera o metal de interesse na massa do produto e na massa alimentada.

$$\text{Rec}_{\text{metal.}} = \frac{\text{Massa de KCl no Produto}}{\text{Massa de KCl Alimentada}} \times 100$$

$$\text{Rec}_{\text{metal.}} = \frac{\text{Massa de Produto} \times \text{Teor de KCl no Produto}}{\text{Massa de Alimentação} \times \text{Teor de KCl na Alimentação}} \times 100$$

Os métodos de medições das massas e teor devem ser confiáveis e precisas, para se ter uma correta informação da recuperação mineral.

Devido aos investimentos em pesquisa e projetos no segmento de matérias intermediárias para produção de fertilizantes e à perspectiva de grandes volumes de produção, a Vale criou, no início deste ano, uma Diretoria Executiva de

Fertilizantes Minerais (DIFM), evidenciando mais ainda a sua visão de futuro na importância desses produtos para suprimento das necessidades de ordem mundial.

2.2 Qualidade

No final do século XX e início do século XXI, deram-se início às grandes transformações nas áreas de produção e qualidade. A intensificação das competições entre as organizações, a diminuição das barreiras comerciais, a globalização, tecnologias e a busca pela qualidade dos produtos e serviços com sustentabilidade para manter-se no mercado, foram os motivos principais, dentre outros, que influenciaram as transformações nas ações estratégicas organizacionais. Consumidores e clientes cada vez mais exigentes em relação à qualidade e preço baixo com as ofertas do mercado cada vez mais frente às suas portas, tornaram suas opiniões primordiais na sobrevivência das organizações e seus negócios. Diante dessa realidade, as empresas buscaram melhorias em suas performances, que segundo Pinto; Carvalho e Lee Ho (2006), buscou-se com a adoção de sistemas de qualidade, dentre os quais: normas como a ISO 9000 [...], premiações como o *Malcolm Baldrige* e o Prêmio Nacional da Qualidade (PNQ), programas como *Total Quality Management* (TQM) e o Seis Sigma.

A fragmentação do trabalho com a produção em massa e a administração científica tirou algumas tarefas do trabalhador como o planejamento, por exemplo, e deu origem às atividades de inspeção, voltadas para a qualidade dos produtos. Quando Henry Ford começou a produzir um único modelo de carro, o controle de qualidade se tornou fundamental na sua produção e criou então um sistema de medida padronizado. Em 1924, *Shewhart*⁵ criou os gráficos de controle e o ciclo PDCA por (*Plan-Do-Check-Act*), com enfoque na melhoria contínua. De acordo com Carvalho e Paladini (2005, p. 3), na década de 30, o controle de qualidade evoluiu bastante com o desenvolvimento do sistema de medidas, ferramentas de controle estatístico do processo e surgimento de normas específicas para essa área. A Revolução Industrial trouxe a inspeção como função responsável pela qualidade, mas com a produção em larga escala e a padronização dos métodos de trabalho, as

⁵ Walter A. Shewhart: Engenheiro doutor em física pela Universidade da Califórnia, nascido nos Estados Unidos em 1891, conhecido como pai do controle estatístico, contribuiu de maneira significativa para a área da qualidade.

necessidades dos clientes deixaram de ser prioridade. As atenções agora eram voltadas para produtividade.

Foram realizados muitos estudos sobre programas de gestão da qualidade que evoluíram e se difundiram rapidamente neste último século. Outros estudos na área de relações humanas como os de Elton Mayo, Maslow, Mcgregor e Herzberg tiveram grande influência nos programas de qualidade no período pós-guerra. Segundo Pinto; Carvalho e Hoo (2009), “Os modelos de qualidade evoluíram e se difundiram ao longo do século; os teóricos da área de qualidade tiveram muita influência nas organizações e os principais pensadores foram: Juran, Feingenbaum, Deming, Crosby, Ishikawa, dentre outros.”.

Sendo consolidada por volta da década de 40 nos Estados Unidos, com o surgimento da *Society for Quality Engineers* em 1945 e a *American Society for Quality* (ASQ) criada em 1946 por Joseph M. Juran, a qualidade só começou a ser tratada de forma sistêmica nas organizações com o TQC – *Total Quality Control* que mais tarde influenciou o modelo da série ISO 9000 já em 1987. No período pós-guerra era criado o modelo japonês com novos elementos na Gestão da Qualidade, onde o conceito de melhoria contínua era fundamental na gestão. O modelo Toyota (produção enxuta) também influenciou a qualidade abortando o desperdício e a eliminação da inspeção.

A qualidade é praticada desde a produção artesanal. Há muitos séculos era praticada pelos artesãos com foco no produto, mas com o mesmo objetivo de hoje: a satisfação do cliente. Ao longo da evolução produtiva, os conceitos da qualidade tiveram várias abordagens, antes associadas á conformidade em relação às especificações, hoje vista como fator de liderança estratégia entre as organizações.

Dellaretti (1994), conceitua qualidade total como cinco componentes ou dimensões que são:

- Qualidade intrínseca: característica específica do produto de acordo com as necessidades do cliente.
- Custo: Custo operacional do produto.
- Entrega: entregar ao cliente com a qualidade certa.
- Moral: um ambiente de trabalho de qualidade.

- Segurança: o cliente e a equipe devem se sentir segura ao usar o produto.

Carvalho e Paladini (2005), diz que a qualidade assumiu plenamente um enfoque que David Garvin fixou á 20 anos atrás: a visão transcendental, ou seja, a qualidade não está apenas no processo produtivo, no método de trabalho, no produto em si ou no serviço prestado, vai além de tudo isso.

O programa mais recente de Gestão de Qualidade é o Seis Sigma que, de acordo com Pinto et al. (2006), alguns dos construtos do modelo remetem ao *TQM*, quais sejam: importância do conhecimento das necessidades dos clientes para a realização dos estudos; a utilização disciplinada de fatos reais, dados e verificações estatísticas; o apoio incondicional da direção da empresa; e a melhoria contínua.

2.3 Programa Seis Sigma

Na ciência matemática e estatística, o sigma (σ) é a simbologia do desvio padrão de uma distribuição normal de uma população, conhecida como Curva de Gauss, usada para quantificar a variação ou não uniformidade de parâmetros de processos. Perez (1999), diz que Seis Sigma significa muitas coisas: “uma estatística, uma medida, uma estratégia, um objetivo, uma visão, um *benchmark*⁶ e uma filosofia”. A verdade é que o significado é o menos importante, o que importa é o seu enfoque totalmente inovador para a resolução de problemas de maneira estruturada e sistemática e os resultados gerados. Não foi o significado e sim os resultados que atraíram as grandes e modernas organizações.

O programa Seis Sigma é uma nova estratégia empresarial, apesar de aparentemente não apresentar novidades, sua abordagem e a forma de implementação são únicas e muito poderosas, o que explica o sucesso do programa (WERKEMA, 2002, p. 15).

À medida que o Seis Sigma foi sendo implementado pelas organizações, suas definições e conceitos evoluíram. Estudos realizados mostram duas abordagens na literatura, a estatística e a estratégica, sendo está última mais enfatizada nos últimos anos.

⁶ *Benchmark*: Método específico de gestão que envolve a comparação entre processos de empresas, concorrentes ou não, com o objetivo de melhoria organizacional, através da identificação de referenciais de excelência e medição do desempenho da organização.

Segundo Pande, Neuman e Cavanagh, (2001, p. 3), o Seis sigma não é mais um modismo no mundo dos negócios, atrelado a um único método ou estratégia, mas, ao contrário, um sistema flexível para uma liderança e um desempenho de negócios melhorados. Não só flexível, mas também abrangente, a abordagem do sistema é de alto desempenho e direcionada para a coleta de dados e levantamento de problemas prioritários dos negócios e à análise das principais causas raízes dos problemas, a fim de solucioná-los.

Seis Sigma é uma estratégia gerencial que utiliza dados das variações de um processo de produção, de serviço ou administrativo, para implementar, de forma disciplinada e estruturada, em métodos de ciclos sistematizados, a melhoria continuada e sustentada em princípios de comprometimento e mudança cultural, focalizados na satisfação genuína dos clientes. O mesmo deve ser entendido como operacional, que promove a integração entre os objetivos estratégicos e os objetivos operacionais da organização.

O objetivo do Seis Sigma é chegar próximo ao zero defeito, erro ou falha, e sua escala mede o nível de qualidade associado a um processo, produto, departamento, equipamento, entre outros. Quanto menor o percentual de defeitos maior a qualidade, ou seja, maior o nível Sigma, com a visão de estender a qualidade para além das expectativas do cliente. Mas com uma abordagem estratégica, o objetivo está relacionado à mudança de cultura na organização, tendo como defensores a Direção e os líderes. Jack Welch, presidente da *General Electric*, descreveu o compromisso da GE com o Seis Sigma como “desequilibrado” , segundo Pande, Neuman e Cavanagh, (2001, p. 4). Os possíveis defeitos dos processos são mensurados e analisados com o uso das ferramentas estatísticas, seguindo um ciclo conhecido como DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), que remete ao ciclo PDCA (*Plan, do, check, action*). Apesar da Gestão da Qualidade Total (GQT) e o Seis Sigma darem ênfase à satisfação do cliente, há algumas diferenças nas suas metodologias. A GQT é administrada por departamentos e visa à melhoria da qualidade, enquanto o Seis Sigma é administrado pelo nível executivo da organização e enfatiza a raiz do problema, a fim de eliminá-lo.

Pande, Neuman e Cavanagh (2001, p 34), descrevem em seu livro um exemplo fictício da evolução de uma empresa de transporte costeiro, que busca a constante melhoria, mostrando claramente como uma empresa que sempre se

pergunta: “Onde posso melhorar?”, “Como posso melhorar?” e “Qual a maneira mais adequada dessa melhoria?”, como se fosse um ciclo fechado, não só atinge o sucesso, mas também o mantém, baseado no conhecimento do cliente e do seu próprio negócio.

O Seis Sigma define uma ordem na utilização das ferramentas e utiliza medidas e coeficientes para avaliação do desempenho atual e definição das metas a serem atingidas. Para implementação do programa, Pande, Neuman e Cavanagh (2001, p. 69) sugerem cinco passos básicos: identificar processos essenciais e clientes-chaves; definir as necessidades do cliente; medir o desempenho atual; priorizar, analisar e implementar melhorias; gerenciar processos para desempenho Seis Sigma.

2.3.1 Histórico do programa Seis Sigma

Na década de 80, a Motorola como muitas empresas possuíam vários programas de qualidade, mas não impediam a perda de participação no mercado. No início do ano de 1987, lançou um programa de qualidade chamado de Programa de Qualidade Seis Sigma, com metas de melhorias de 10 vezes maior em menos de 2 anos. Surgida no setor de comunicações, o objetivo era sair do quadro de perda de participação no mercado que se encontrava, para ser a melhor na opinião dos seus clientes. O Diretor Executivo e Presidente do Conselho, Bob Galvin, divulgou o programa para toda a organização e convidou todos os integrantes da corporação a buscarem o mesmo objetivo. Os resultados foram tão surpreendentes que após 2 anos a Motorola recebeu o prêmio da qualidade *Malcolm Baldrige National Quality Award*. Em 10 anos, foram muitas as realizações, entre elas destacaram-se: um crescimento de cinco vezes nas vendas, com lucros quase 20% ao ano; economia acumulada de US\$ 14 bilhões e aumento na taxa anual de 21,3% no preço das ações (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001, p 7).

A partir da divulgação do sucesso da Motorola, outras empresas como a Asea Brown Boveri, AlliedSignal, General Electric, Sony, Dupont, Kodak, Bombardier, Johnson & Johnson e outras mais, passaram a utilizar o Seis Sigma. A figura 1 a seguir traz um resumo dessa história.

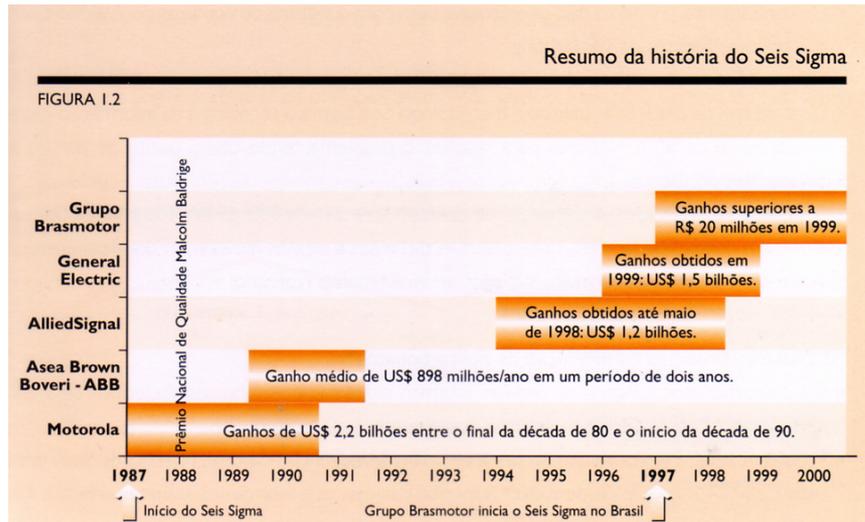


Figura 2: Resumo da história do Seis sigma
 Fonte: WERKEMA (2002, p. 19)

2.3.2 Capacidade Sigma

Conforme descrito anteriormente, na ciência matemática e estatística, o sigma (σ), é a simbologia do desvio padrão da distribuição normal de uma população conhecida como Curva de Gauss, usada para quantificar a variação ou não uniformidade de parâmetros de processos. A distribuição normal pode ser usada sempre que a variável em estudo é uma composição de efeitos de outras variáveis independentes e uma concentração maior em torno da média. O desvio padrão dá a noção da dispersão de dados mensurados (população) em relação à média. Se o valor do desvio padrão for alto, há muita variação nos resultados; caso seja baixo, há pouca variação, ou seja, quanto mais baixo for o desvio padrão mais uniforme é o resultado em questão.

A capacidade Sigma é medida pela distância entre a média e os limites de especificações LIE – limite de especificação inferior e LSE – limite de especificação superior, em quantidades de desvios padrão (σ). Essa distância é chamada de índice da capacidade Seis Sigma (z), que na estatística é chamada de “estatística z ”. Ela se assemelha às métricas C_p (coeficiente de potencial do processo) e C_{pk} (coeficiente de capacidade do processo), que são os coeficientes de estudo de capacidade de processos. Esses coeficientes dão a dimensão do quanto um processo é capaz de confeccionar produtos dentro dos limites de especificação.

O programa Seis Sigma utiliza algumas medidas que quantificam os resultados específicos de uma empresa. De acordo com Werkema (2002, p. 145) os

resultados de uma empresa podem ser classificados no que diz respeito à variabilidade e à conseqüente geração de defeitos ou erros. Essas medidas são usadas na identificação das metas a serem atingidas e na verificação do alcance das mesmas no final do projeto e são baseadas em defeituosos (proporção de defeituosos e rendimento final), em defeitos (por oportunidade, por unidade e por milhão de resultados) e em custo da não qualidade.

Em resumo a Escala Sigma mede o nível de qualidade associado a um processo. A figura a seguir ilustra a base de medição da qualidade Sigma.

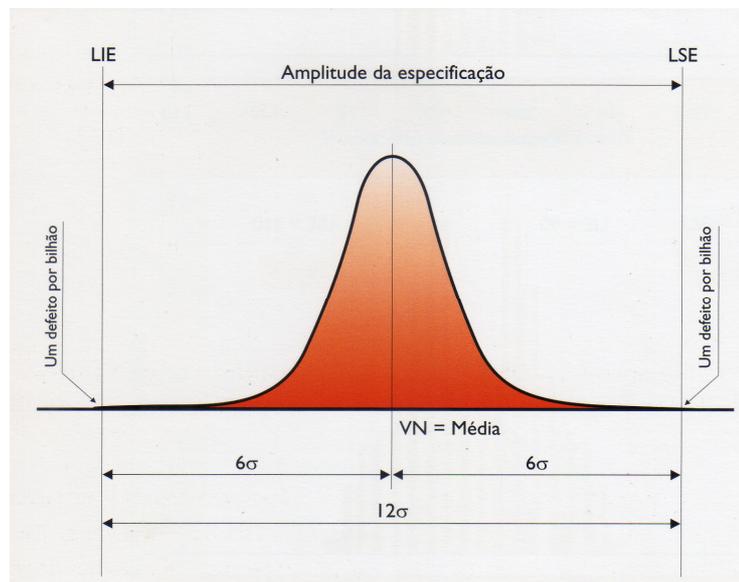


Figura 3: Base de medição da qualidade Seis Sigma
Fonte: WERKEMA (2002 p. 220)

2.4 Equipe Seis Sigma

Os especialistas e patrocinadores dos Seis Sigma, assim como os programas de qualidade japoneses, têm seus nomes baseados nas artes marciais. Para Campos (2004, p. 26), a evolução de uma pessoa nas artes gerenciais tem muito de semelhante com a evolução nas artes marciais. A idéia de se estabelecer um paralelo entre a luta de caratê e a implementação do Seis Sigma, surgiu porque ambas dependem de força velocidade e determinação.

É muito importante a capacitação desses especialistas para implantação do Seis Sigma. Cada membro da equipe tem suas responsabilidades bem definidas. Na equipe tem-se os seguintes membros:

- Executivo líder (*Sponsor*) – número um da empresa, responsável pela implementação do Seis Sigma, é ele que promove e disponibiliza os

recursos necessários e define as diretrizes do programa, (WERKEMA, 2001).

- Campeão (*Champions*) – são diretores e gerentes da empresa que definem quais as pessoas que irão disseminar os conhecimentos do Seis Sigma. O mesmo deve compreender as teorias, os princípios e as práticas do programa, com a responsabilidade de guiar a implementação, apoiando os projetos e removendo possíveis barreiras para o seu desenvolvimento,(MARSHALL JR., 2006).
- Máster Faixa Preta (*Master Black Belts*) – são os profissionais que dedicam 100% de seu tempo de trabalho às atividades relacionadas ao programa Seis Sigma. Assessoram os *Baeck Belts* e *Green Belts*. Possuem habilidades de comunicação e didáticas, e são preparados para a resolução de problemas, utilizando o pensamento estatístico. Seu papel é fundamental no processo de mudança cultural na organização (MARSHALL JR., et al., 2006).
- Faixa Preta (*Black Belts*) – são líderes de equipes na condução de projetos máster (multifuncionais) e por isso recebem treinamento intensivo em técnicas estatísticas. São treinadores dos *Green Belts*, e necessitam de habilidades de relacionamento interpessoal, iniciativa, entusiasmo, motivação, domínio das ferramentas estatísticas, entre outras (MARSHALL JR. et al., 2006).
- Faixa Verde (*Green Belts*) – são profissionais liderados pelos *Black Belts*, que auxiliam na coleta de dados e no desenvolvimento das atividades do Seis Sigma, compartilhando-as com suas atividades do dia a dia. Seu perfil é similar ao *Black Belts*, mais com menor ênfase nos aspectos comportamentais podem liderar até pequenos projetos (Marshall Jr., 2006)
- Faixa Branca (*White Belts*) - profissionais de nível técnico e operacional, que contribuem diretamente com os projetos, e dão suporte aos *Black Belts* e *Green Belts*. São muito importantes no processo por serem a equipe laborativa na execução das atividades (CAMPOS, 1999). Alguns consultores do programa Seis Sigma denominam os Faixa Branca como Faixa Amarela (*Yellow Belts*).

2.5 Método DMAIC

No programa Seis Sigma existe uma preocupação com o uso sistemático das ferramentas estatísticas; por isso, usa-se um método cíclico denominado de DMAIC (*figura 3*) na melhoria de projetos já existentes, podendo ser aplicado a qualquer processo industrial ou administrativo. Baseado no ciclo PDCA - difundido por *Deming*⁷ - e como a maioria dos modelos de melhoria aplicados nos programas de qualidade, as fases do DMAIC (*Define-Measure-Analyse-Improve-Control*) são utilizadas para definir com precisão o escopo dos projetos de melhoria; determinar o foco dos problemas; determinar as causas desses problemas prioritários; avaliar, propor e implementar soluções para cada problema; e garantir que o alcance das metas seja mantido a longo prazo.

Santos e Martins (2008), afirmam: “O DMAIC é mais caracterizado pelo seu potencial de solução de problemas por assegurar a redução na taxa de defeitos e falhas dos produtos, serviços e processos.”.

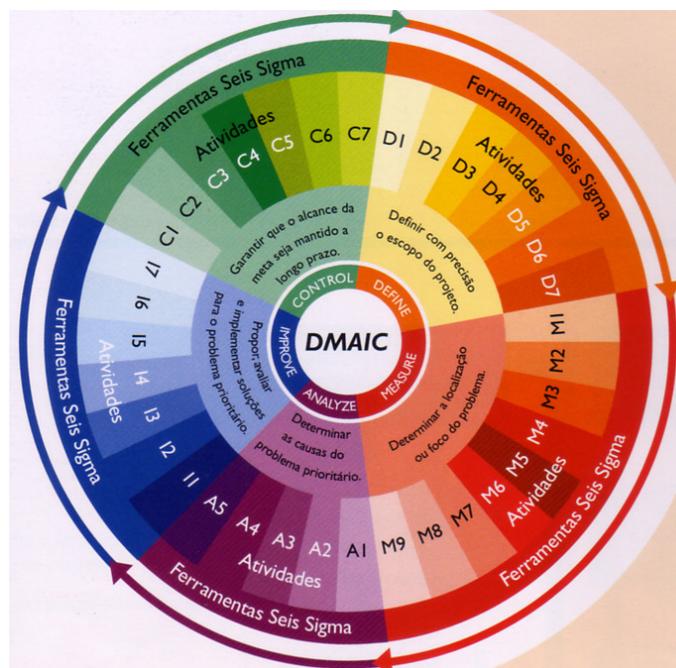


Figura 4: Significado da qualidade Seis Sigma
Fonte: WERKEMA (2002, p. 26)

⁷ W. Edwards Deming: Nascido nos Estados Unidos em 1900 era engenheiro electricista e doutor em matemática pela Universidade de Yale. Considerado pai do controle de qualidade no Japão..

Diversas ferramentas são utilizadas de maneira integrada às etapas do DMAIC, que se transforma então em um método sistemático baseado em dados e no uso de ferramentas estatísticas para se atingir os resultados da empresa (WERKEMA, 2005, p. 26).

2.5.1 *Define* (definir)

A primeira etapa é a identificação das prioridades e o estabelecimento da meta após a avaliação dos aspectos relacionados com um problema específico. Os benefícios e oportunidades do programa são discutidos nesta fase e o escopo do projeto é definido com base nas seguintes atividades:

- Descrição do problema e definição da meta;
- Levantamento do histórico do problema, seu retorno econômico e impacto sobre a estratégia da empresa;
- Identificação das prioridades e seleção do projeto prioritário, levando em consideração o custo da não qualidade;
- Definição dos participantes e suas responsabilidades;
- Identificação das necessidades dos principais clientes do projeto;
- Definição de qual é o processo envolvido no projeto.
- Elaboração do cronograma preliminar.

As ferramentas do Seis Sigma usadas nesta fase são: mapa de raciocínio, gráficos seqüenciais, análises temporais, voz do cliente, SIPOC (*Supply-Inputs-Process-Output-Customer*), entre outras. Outra ferramenta fundamental, de acordo com Werkema (2002, p. 175), é o *Project Charter*, documento que representa uma espécie de contrato firmado entre a equipe responsável pela condução do projeto e os gestores da empresa, para registros iniciais dos passos do projeto.

Esta etapa é fundamental, pois nela será definido o futuro de todo o projeto. A figura 4 ilustra a integração entre as atividades da fase *Define*, com as ferramentas a serem utilizadas.

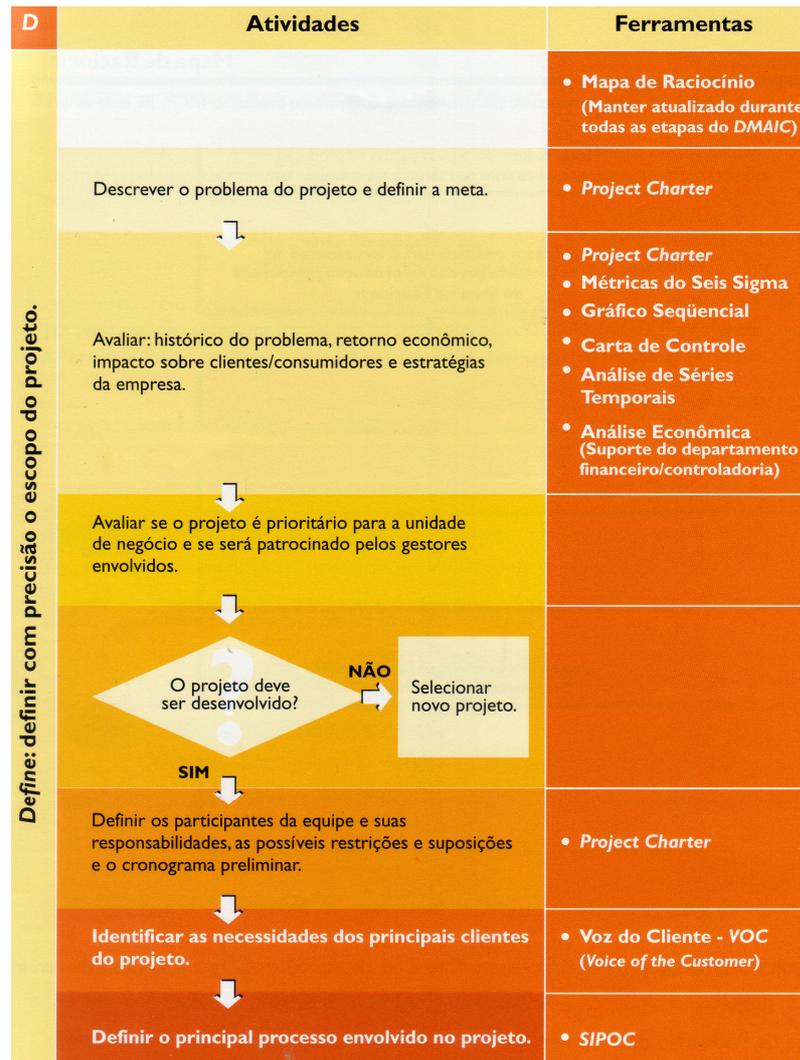


Figura 5: Integração das ferramentas Seis Sigma ao DMAIC – etapa *Define*
 Fonte: WERKEMA (2002, p. 173)

2.5.2 Measure (medir)

Nesta fase, o problema definido e avaliado anteriormente, é estratificado em blocos menores, refinado, para facilitar a solução. Para Marshall Jr. et al. (2006, p. 130), esta etapa é a razão de ser do programa Seis Sigma, e que a medição bem feita, com indicadores apropriados, é o caminho para o sucesso do projeto. Os indicadores vão demonstrar as melhorias alcançadas e para isso precisam ser medidos antes, durante, e depois do projeto.

A figura 5 ilustra a integração entre as atividades da fase *Measure* com as ferramentas Seis Sigma a serem utilizadas.

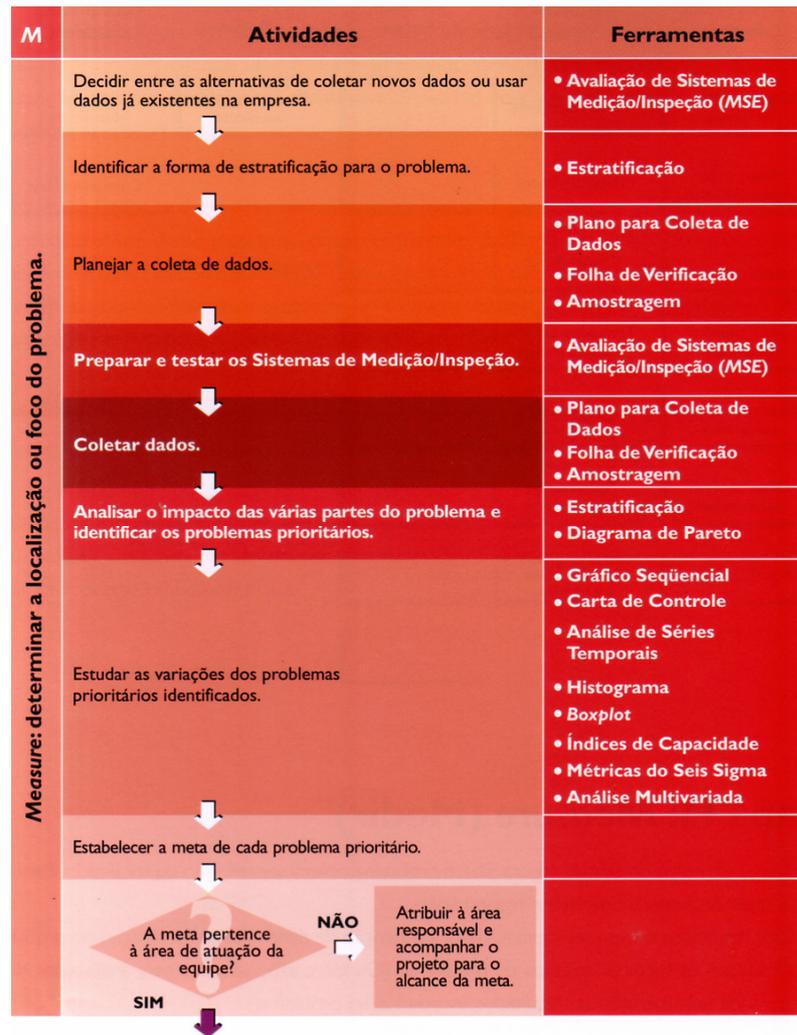


Figura 6: Integração das ferramentas Seis Sigma ao DMAIC – etapa Measure
Fonte: WERKEMA (2002, p. 181)

As ferramentas comumente utilizadas nesta fase são: estratificação, avaliação de sistemas de medição/inspeção (MSE), planos de coleta de dados, diagramas de Pareto, histogramas, gráfico seqüencial, índice de capacidade e outras. Os processos e subprocessos são desenhados para definir as entradas e saídas e relacioná-las. Após a estratificação ou desdobramento, é realizado um plano de coleta de dados (medições) e análise para determinar as oportunidades nas variações e estabelecer metas específicas.

2.5.3 Analyze (analisar)

Nesta fase os dados da etapa anterior serão estudados, para se determinar as causas geradoras dos defeitos, erros, falhas ou perdas (problemas). A

compreensão desses dados relacionados com o processo vai ampliar a visão dos processos em consonância à sua variabilidade. Em resumo, as causas potenciais são identificadas, quantificadas e priorizadas. Além das ferramentas de qualidade, ferramentas estatísticas são bastante utilizadas, como o histograma, correlação e regressão, análise de variância, entre outras. A figura a seguir ilustra a integração das ferramentas estatísticas e de qualidade às atividades desenvolvidas nesta.

A	Atividades	Ferramentas
Analyze: determinar as causas do problema prioritário.	Analisar o processo gerador do problema prioritário (<i>Process Door</i>).	<ul style="list-style-type: none"> • Fluxograma • Mapa de Processo • Mapa de Produto • Análise do Tempo de Ciclo • FMEA • FTA
	Analisar dados do problema prioritário e de seu processo gerador (<i>Data Door</i>).	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção (MSE) • Histograma • Boxplot • Estratificação • Diagrama de Dispersão • Cartas "Multi-Vari"
	Identificar e organizar as causas potenciais do problema prioritário.	<ul style="list-style-type: none"> • Brainstorming • Diagrama de Causa e Efeito • Diagrama de Afinidades • Diagrama de Relações
	Priorizar as causas potenciais do problema prioritário.	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de Matriz • Matriz de Priorização
	Quantificar a importância das causas potenciais prioritárias (determinar as causas fundamentais).	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção (MSE) • Carta de Controle • Diagrama de Dispersão • Análise de Regressão • Testes de Hipóteses • Análise de Variância • Planejamento de Experimentos • Análise de Tempos de Falhas • Testes de Vida Acelerados

Figura 7: Integração das ferramentas Seis Sigma ao DMAIC – etapa *Analyze*
 Fonte: WERKEMA (2002, p. 187)

2.5.4 *Improve* (melhorar)

As causas fundamentais do problema prioritário, identificadas na etapa anterior devem ser anuladas. Para isso, soluções devem ser propostas, avaliadas e implementadas. Sessões de *Brainstorming* são fundamentais, para levantar idéias

de soluções que serão refinadas, utilizando-se Diagramas de Causa e Efeito, Diagrama de Afinidades e de Relação.

Por fim, planos de ação são elaborados, para a execução das melhores idéias, após a análise de riscos e testes de medidas. Nesta fase de elaboração dos planos são utilizadas ferramentas de planejamento (figura 7).

Segundo Carvalho e Paladini (2005, p. 136), é nesta fase que as melhorias se materializam no processo, quando a equipe do projeto interage com as pessoas que executam as atividades, sendo, portanto uma atividade crítica.

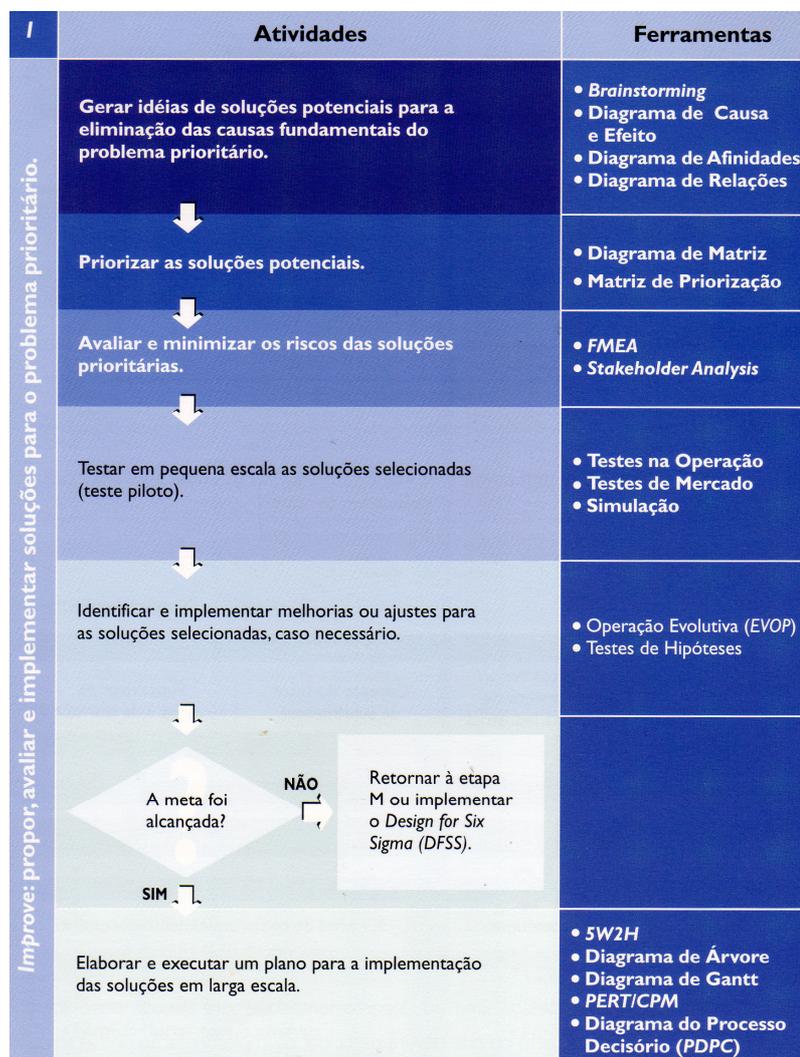


Figura 8: Integração das ferramentas Seis Sigma ao DMAIC – etapa Improve
Fonte: WERKEMA (2002, p. 203)

2.5.5 Control (controlar)

Esta etapa é a manutenção das melhorias propostas e realizadas na etapa anterior. Ela garante que as metas alcançadas sejam mantidas a longo prazo. Para Marshall Jr. et al. (2006, p. 131), esta é a fase mais importante, pois ela permite a continuidade do programa de melhoria.

Os resultados (alcance das metas) são verificados e quantificados e planos de controle serão desenvolvidos, para que todas as variações sejam acompanhadas e os possíveis desvios corrigidos, com o objetivo de medir continuamente o processo. A figura a seguir ilustra as principais ferramentas utilizadas no desenvolvimento desta fase.

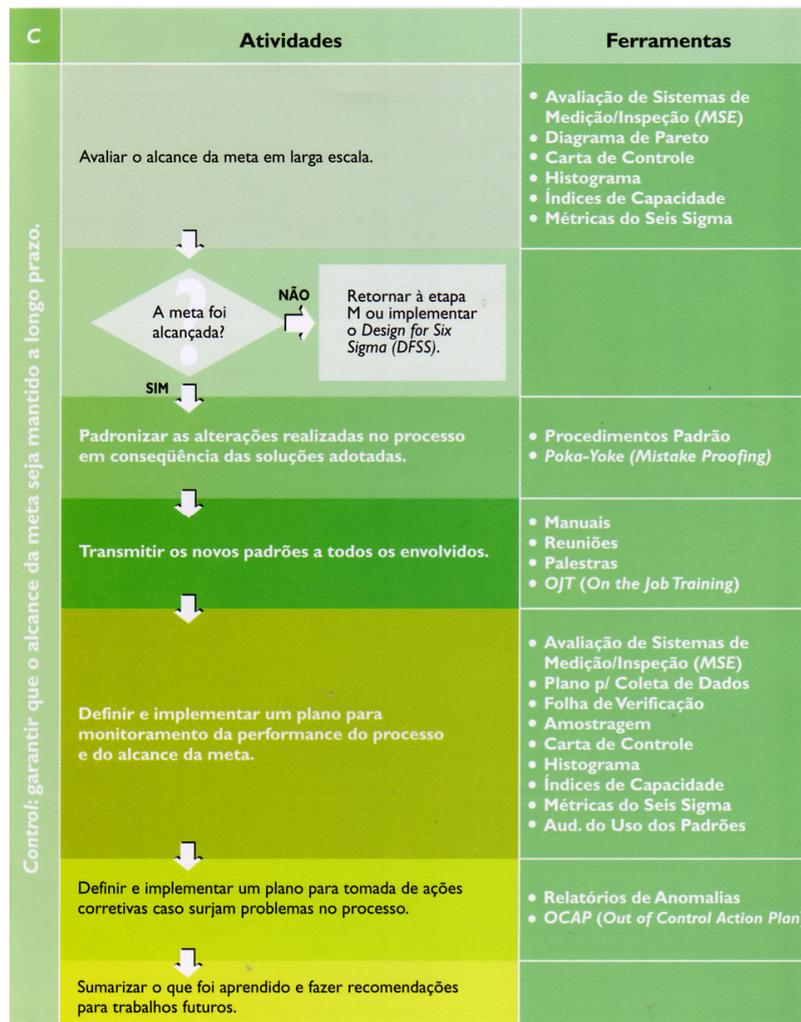


Figura 9: Integração das ferramentas Seis Sigma ao DMAIC – etapa Control
 Fonte: WERKEMA (2002, p. 211)

2.6 Ferramentas de Gerenciamento da Qualidade

As ferramentas de qualidade usadas no gerenciamento foram estruturadas a partir da década de 50, quando surgiram grandes pensadores da área de qualidade. Segundo Carvalho e Paladini (2005), Walter Shewhart foi o pioneiro da área de Controle Estatístico de Processo, e desenvolveu uma das ferramentas mais utilizadas no controle de qualidade até hoje – os gráficos de controle. Ficou conhecido como o pai do controle estatístico da qualidade.

As ferramentas de qualidade são fundamentais no gerenciamento dos processos, pois contribuem para a solução de problemas, facilitando a coleta e análise de informações necessárias ao gerenciamento.

Algumas dessas ferramentas de gerenciamento da qualidade são ferramentas estatísticas e outras chamadas de métodos específicos de gerenciamento, de acordo com Marshall Jr. (2006). Os métodos específicos de gerenciamento básicos mais utilizados são: 5W2H (*why-what-where-when-who-how-how much*), gráfico seqüencial, diagrama de causa e efeito, fluxograma, diagrama de Gantt, FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) e *brainstorming*. Hoje há muitos outros usados, por exemplo, no programa Seis Sigma, como: mapas de raciocínio, *project charter*, mapa de processo, análise de série temporal, diagrama de árvore, análise de variância, análise de regressão, teste de hipótese e uma série de outros mais. As ferramentas estatísticas básicas mais usadas são: estratificação, gráficos de Pareto, histograma e gráficos de controle (cartas de controle). Um projeto Seis Sigma utiliza muitas ferramentas integradas ao DMAIC. A seguir são citadas algumas delas.

2.6.1 5W2H

É um método utilizado para mapeamento e padronização de processos, com o objetivo de definir claramente as atividades a serem realizadas. Bastante usada na elaboração de planos de ação, onde são definidos responsabilidades, prazos, métodos e recursos.

Segundo Marshall Jr. (2006), o 5W2H representa as iniciais das palavras em inglês: *why* (por que), *what* (o que), *where* (onde), *when* (quando) *who* (quem), *how* (como) e *how much* (quanto custa). O objetivo é definir a estratégia de ação

elaborada em um plano: o que será feito, quando será feito, onde será feito, quando será feito, como será feito, quanto custará o que será feito e quem o fará.

2.6.2 Gráfico seqüencial

O gráfico seqüencial é um diagrama que mostra o comportamento de uma variável ao longo do tempo. Utilizado para indicar a tendência dos dados em intervalos, é também chamado de gráfico de tendência.

Basicamente os dados são plotados em um plano cartesiano, onde a variável em estudo é representada no eixo vertical e a ordem cronológica no eixo horizontal, permitindo a visualização da sua evolução em função do tempo. O gráfico 1 da média mensal de amina residual no produto de KCl granulada da UOTV, do ano de 2004 ilustra um gráfico seqüencial (figura 9).

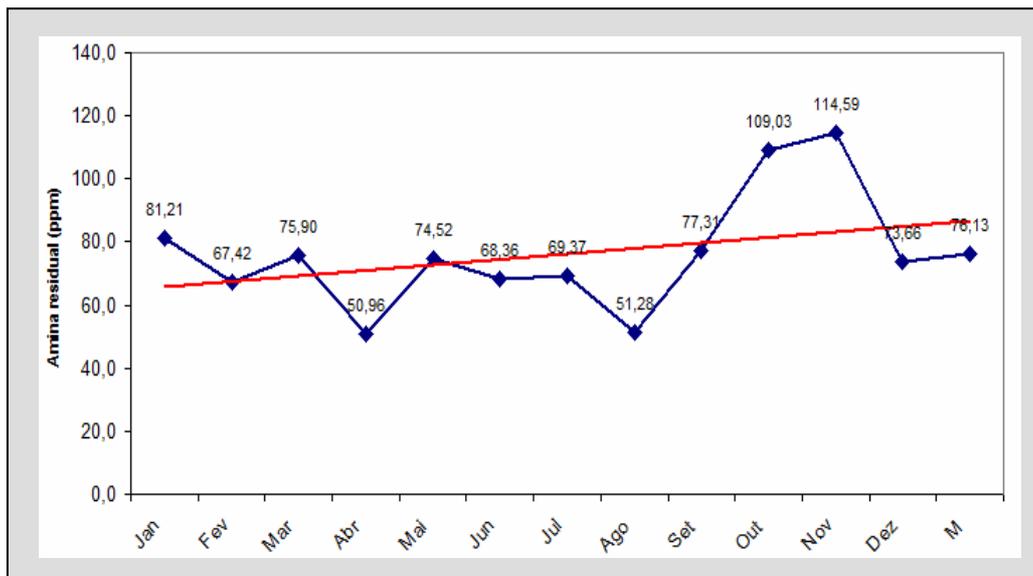


Figura 10: Ilustração de um gráfico seqüencial
Fonte: Estudo da qualidade do produto de KCl granulada (UOTV)

2.6.3 Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa e efeito, também conhecido como espinha de peixe, diagrama de Ishikawa e diagrama 6M (mão de obra, materiais, medições, máquinas, métodos e meio), é uma representação gráfica em forma de espinha de peixe, que

organiza, de forma coerente, os fatores (causas) que influenciam no resultado (efeito) de um determinado processo, conforme mostrado na figura 10.

Segundo Werkema (2002), é empregado nas sessões de *brainstorming* realizadas nos trabalhos em grupo, com a finalidade de apresentar a relação entre um resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) que, por razões técnicas, possam afetar o resultado considerado.

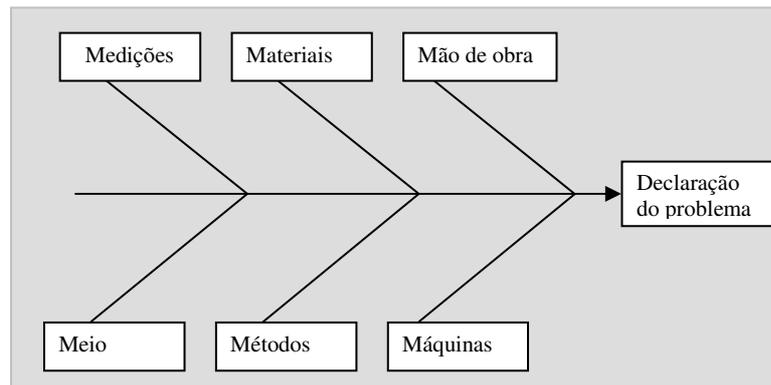


Figura 11: Diagrama de causa e efeito

Fonte: Apostila de treinamento Green Belts - SETA desenvolvimento gerencial

A proposição desse diagrama é providenciar a visualização de todas as possíveis causas de um problema específico para: expandir seu raciocínio a fim de considerar todas as causas possíveis, conseguir a colaboração do grupo e verificar se o verdadeiro problema foi identificado corretamente.

2.6.4 Fluxograma

O fluxograma é a representação gráfica que permite a visualização seqüencial de etapas e características de um processo, como mostrado na figura 11 anteriormente. Essa ferramenta utiliza símbolos padronizados para facilitar a compreensão do processo como um todo.

Campos (1992), define: “Fluxograma é uma representação esquemática de um processo, feita através de gráficos que ilustram, de forma descomplicada o fluxo de informações. São os passos necessários para a execução de um processo qualquer”.

2.6.5 Diagrama de Gantt

O Diagrama de Gantt é um gráfico que ilustra o avanço das diferentes etapas de um projeto. Criado no início do século XX pelo engenheiro Henry Gantt, o diagrama é bastante utilizado como ferramenta de controle, planejamento e manutenção. Bastante simples seu entendimento, geralmente é usado para determinar o tempo das tarefas.

Os primeiros gráficos eram mais simples, mas hoje foram incorporados novos elementos, tais como as linhas para destacar dependências. Existem hoje programas que permitem criar estes gráficos com maior facilidade, como o *MSProject*, usado na área de planejamento.

No Seis Sigma, o diagrama de Gantt é usado como cronograma de execução das etapas do projeto e tarefas de um plano de ação.

2.6.6 *Brainstorming*

Brainstorming é uma sessão (reunião) entre um grupo de pessoas para geração de novas idéias, conceitos e soluções para qualquer assunto ou tópico, num ambiente livre de críticas e de restrições à imaginação.

Segundo Werkema (2002, p. 194), essa ferramenta auxilia a produzir o máximo de idéias possíveis ou sugestões criativas sobre um tópico, em um curto período de tempo.

O *brainstorming* é útil quando se deseja gerar, em curto prazo, uma grande quantidade de idéias sobre um assunto a ser resolvido, possíveis causas de um problema, abordagens a serem usadas, ou ações a serem tomadas. Os propósitos e as regras básicas da sessão devem ser esclarecidos logo no início. As regras mais importantes são: o não julgamento e a liberdade total. Uma idéia que pode parecer absurda, incoerente, esdrúxula, pode até ser a melhor solução. Essa ferramenta costuma quebrar paradigmas. A política de igualdade deve ser mantida e as idéias criadas impreterivelmente anotadas.

Em uma sessão de *brainstorming* há três fases típicas: a apresentação do assunto, problema ou situação; a geração de idéias propriamente dita; e a análise e seleção das idéias (MARSHALL JR. et al., 2006).

Atualmente, essa ferramenta vem sendo utilizada por muitas empresas, dos mais variados segmentos, pois motiva o trabalho em equipe e fortalece o comprometimento com as responsabilidades das ações.

2.6.7 FMEA

FMEA - Análise dos Modos de Falha e Efeitos é uma técnica de avaliação da confiabilidade, para determinar o efeito das falhas de equipamentos e sistemas. Foi desenvolvida pelas Forças Armadas Americanas em 1949 e utilizada pela primeira vez em 1950, no projeto e desenvolvimento de sistemas de controle de vôo.

Hoje é bastante utilizada em projetos, desde a fase conceitual até a fase de detalhamento, na fase operacional de sistemas industriais, fornecendo subsídios à operação e no planejamento de manutenção e desenvolvimento de sistemas de apoio logístico de sistemas industriais. O quadro 2 é um formulário típico de FMEA, que mostra os diversos campos e como são utilizados.

FMEA - Análise de Modos de Falha e Efeitos											
Sistema: ____ (Campo 1) _____			Data: __/__/__			Produto/ Processo: ____ (Campo 2) _____					
Sub-sistema: _____				Folha: __/__/__		Elaborado por: _____					
Item	Componente/ Processo	Funções	Falhas		Severidade	Causas	Ocorrência	Meios de Detecção	Detecção	RPN	Contra Medidas
			Modo(s)	Efeito(s)							
Campo 3	Campo 4	Campo 5	Campo 6	Campo 7	Campo 11	Campo 8	Campo 10	Campo 9	Campo 12	Campo 13	Campo 14

Quadro2: Formulário típico de FMEA
Fonte: LAFRAIA (2002, p. 103)

Segundo Werkema (2002, p. 191), essa ferramenta tem como objetivo identificar, hierarquizar e prevenir as falhas potenciais de um produto ou processo, oferecendo uma abordagem estruturada para avaliação, condução e atualização. Além de identificar causas potenciais, também determina o grau dos efeitos a elas associados.

2.6.8 Project Chart

O *Project Chart* é um documento de validação do projeto. Nele constam a descrição do problema, a definição da meta principal, avaliação do histórico do problema, as restrições e suposições, a equipe de trabalho, responsabilidades e cronograma preliminar e ainda estimativa dos ganhos financeiros.

É o primeiro passo da etapa *Define* do método DMAIC. A figura a seguir exemplifica um *Project Chart*.

Redução das perdas de produção por parada de linha na Fábrica I.	
Descrição do problema	<p>Na Fábrica I, as paradas de linha são apontadas pela área de manufatura como um dos maiores problemas na rotina de trabalho, invalidando o planejamento para as operações diárias.</p> <p>No ano 2000, o valor médio mensal das perdas de produção decorrentes das paradas de linha foi muito alto e, além disso, o problema vem apresentando uma tendência crescente.</p> <p>As principais perdas econômicas resultantes do problema em 2000 foram as perdas de faturamento por produtos não entregues aos clientes no prazo previsto (R\$ 1.100.000,00) e os gastos com horas extras, transporte e alimentação dos funcionários para recuperação da produção (R\$ 335.000,00).</p>
Definição da meta	Reduzir em 50% as perdas de produção por parada de linha na Fábrica I, até 30/12/2001.
Avaliação do histórico do problema	Anexo I
Restrições e suposições	<p>Os membros da equipe de trabalho deverão dedicar 50% de seu tempo ao desenvolvimento do projeto.</p> <p>Será necessário o suporte de um especialista do departamento de manutenção.</p> <p>Os gastos do projeto deverão ser debitados do centro de custo 01/PCP20, após autorização do "Champion" (de acordo com o procedimento WIZ).</p>
Equipe de trabalho	<p><u>Membros da equipe:</u> Axel Mahayana (Black Belt - Líder da equipe), Denise Sampaio (montagem), Marlon Oliveira (engenharia industrial), Sandra Barbosa (PCP) e Arthur Santos (manutenção).</p> <p><u>"Champion":</u> Otávio Cerqueira (gerente da Fábrica I)</p> <p><u>Especialistas para suporte técnico:</u> Marcos Siqueira (manutenção) e Victoria Ryan (controladoria).</p>
Responsabilidades dos membros e logística da equipe	Anexo II
Cronograma preliminar	Define: 28/02/2001, Measure: 15/04/2001, Analyze: 30/06/2001, Improve: 30/08/2001 e Control: 30/12/2001.

Figura 12: Exemplo de um *Project Chart*
Fonte: WERKEMA (2002, p.77)

2.6.9 Mapa de raciocínio

O desenvolvimento de qualquer projeto requer uma seqüência lógica e progressiva. O Mapa de Raciocínio é usado justamente para esse fim. Nele faz-se um apanhado de informações básicas que nortearão o caminho no desenvolvimento dos trabalhos e pode ser usado em todas as fases do DMAIC.

Werkema (2002, p. 115), descreve:

“Mapa de Raciocínio é uma documentação progressiva de forma de raciocínio durante a execução de um trabalho ou projeto. Ele deve documentar: a meta inicial do projeto; as questões às quais a equipe precisou responder durante o desenvolvimento do projeto; o que foi feito para responder às questões; respostas às questões; novas questões, novos passos, novas respostas.”

No Mapa de Raciocínio são apresentadas as atividades paralelas desenvolvidas na execução do projeto, documentos de dados de referência como anexos, cronogramas iniciais de desenvolvimento, bem como indicadores e fluxos de processo. Seus benefícios vão além de fontes de consulta para o desenvolvimento do projeto, pois permite o conhecimento para outros interessados, além dos integrantes da equipe. Contribui para o questionamento lógico do pensamento, ações e idéias, e facilita o entendimento do projeto por pessoas que não são da equipe.

2.6.10 Mapa de processo

Mapa de processo é usado para documentar o conhecimento existente sobre o processo. Descreve limites, as principais atividades/tarefas, os parâmetros do produto final (Y), de produto em processo (y) e os parâmetros de processo (x) (WERKEMA, 2002, p. 188).

É uma ferramenta usada para quantificar a relação existente entre os parâmetros de um processo e seu produto, e quais são controláveis, não controláveis e quais os críticos. A figura a seguir mostra um mapa de processo dos fatores que afetam o ID (índice de desgaste) e a granulometria do produto de KCl granulado da UOTV, para ilustração.

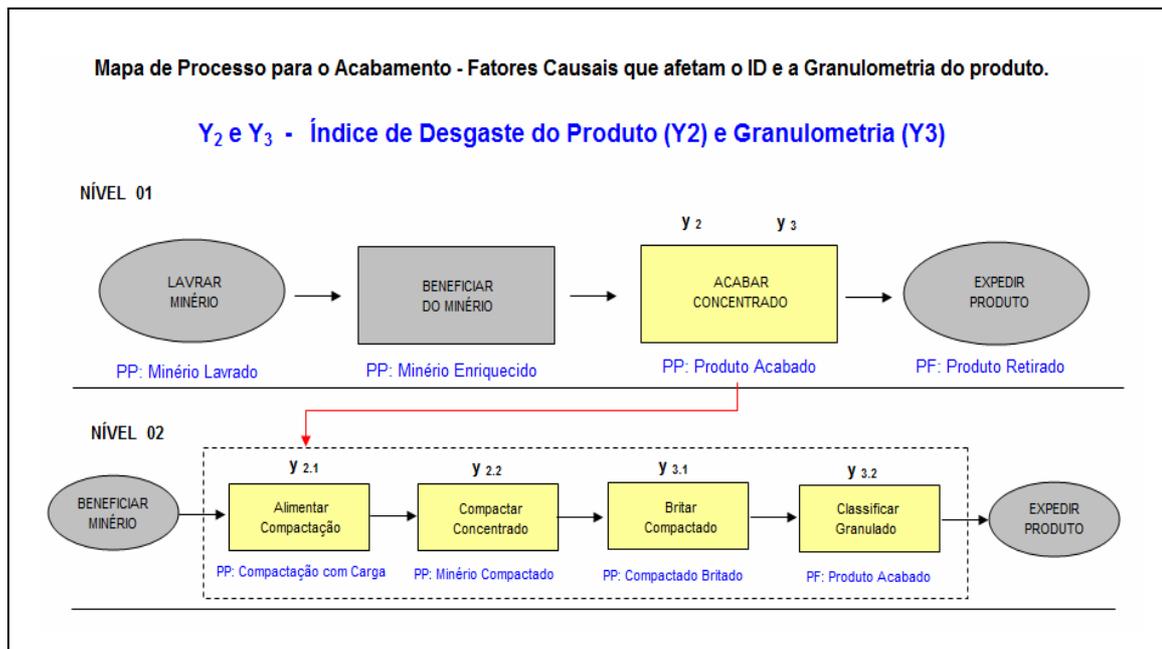


Figura 13: Ilustração de um Mapa de processo para o Acabamento
Fonte: Estudo da qualidade do produto de KCl granulado (UOTV)

2.6.11 Análise de séries temporais

Análise de séries temporais é uma técnica de previsão de dados históricos em estudo, com o futuro. Baseada em modelos matemáticos de séries temporais que permite prever o comportamento futuro de um fenômeno.

2.6.12 Diagrama de árvore

O Diagrama de Árvore é uma ferramenta de desdobramento de um item em questão que pode ser um problema, um objetivo, uma ação, um processo. Segundo Marshall Jr. et al. (2006), o diagrama da árvore permite identificar com grau crescente de detalhamento, todos os meios e tarefas necessários para se atingir um determinado objetivo. Interliga as tarefas em sucessivos desdobramentos, estruturados e coerentes.

A figura 14 traz um diagrama de árvore das variáveis que afetam o Índice de Qualidade do produto de KCl granulado da UOTV, como exemplo.

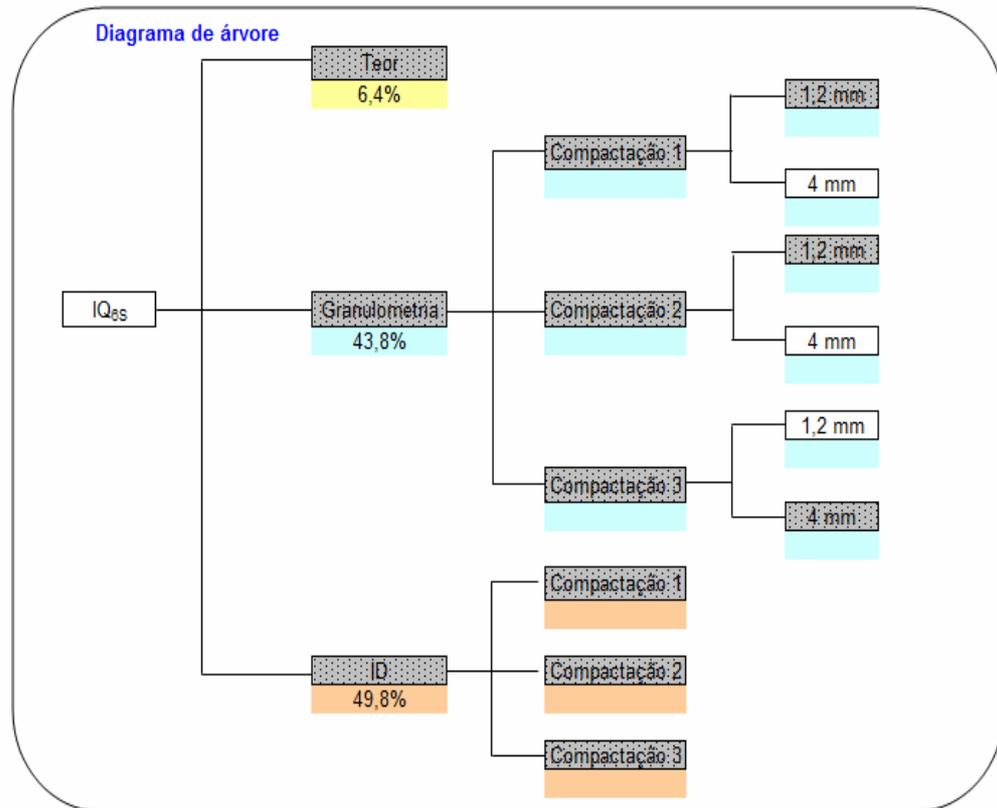


Figura 14: Exemplo de um Diagrama de árvore qualidade do produto KCL
Fonte: Estudo da qualidade do produto de KCl granulado (UOTV)

Para Werkema (2002), o diagrama de árvore é empregado na definição de estratégia para a solução de um problema, mostrando o mapeamento detalhado dos caminhos (meios ou medidas) a serem percorridos para o alcance do objetivo.

2.6.13 Estratificação

Estratificação é a divisão de um todo em grupos, categorias, ou seja, em estratos, usada para desdobramento de dados levantados. É bastante útil na observação de um problema sob vários pontos de vista e identificação de características específicas do problema. São diversas as maneiras possíveis de estratificação, por exemplo: local (linha, posição, área, máquina, etc.); tipo (produto, matéria-prima, artigo, título, etc.); sintoma (defeito, ocorrência); tempo (hora, mês, dia, semana, etc.) e outros fatores (método, ferramentas, treinamento, operador, etc.).

Werkema (2002, p. 182) diz: “A estratificação consiste no agrupamento os dados sob vários pontos de vista, de modo a focalizar o fenômeno estudado.”

2.6.14 Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto é um gráfico de barras que dispõe a informação de forma a tornar evidente e visual a priorização de temas, constituído a partir de um processo de coleta de dados. A informação assim disposta também permite o estabelecimento de metas específicas, viáveis de serem alcançadas, pois o gráfico estratifica os dados. É utilizado quando se deseja priorizar problemas ou causas relativas a um determinado assunto.

A idéia do gráfico foi originada do estudo da distribuição de renda realizada por Valfredo Pareto, economista italiano do século XX, quando Joseph M. Juran desenhou uma figura para mostrar que poucas causas levam à maioria das perdas, e observou a semelhança com a figura da distribuição de renda de Pareto.

O gráfico de Pareto abaixo mostra distribuição percentual das não conformidades do produto de KCl granulado da UOTV, como ilustração.

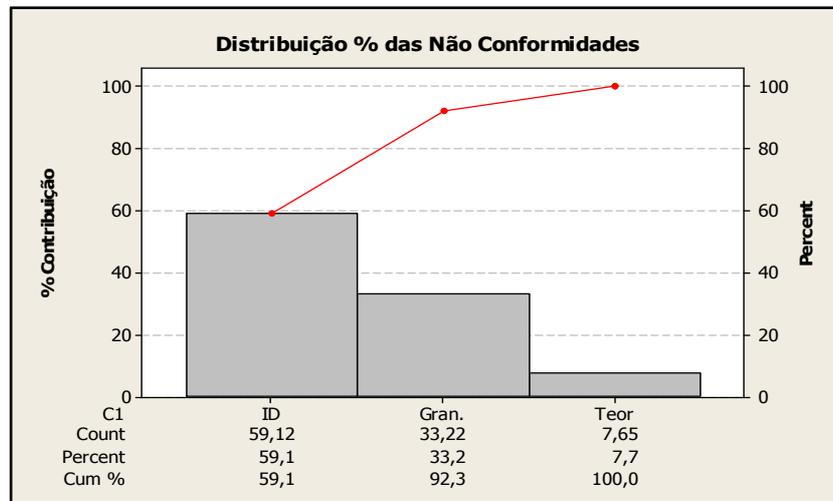


Figura 15: Ilustração de gráfico de Pareto - Distribuição das Não Conformidades
Fonte: Estudo da qualidade do produto de KCl granulado (UOTV)

2.6.15 Histograma

O histograma é um gráfico de barras que mostra a distribuição de dados por categoria e permite que os elementos de saída de um processo sejam conhecidos e estudados.

O gráfico é usado para comparar o processo com os limites de especificação, prever o percentual da produção fora de especificação e identificar

onde o processo está centrado. Representa uma distribuição de frequências, agrupadas estatisticamente na forma de classes, nas quais se observa a tendência central dos valores e sua variabilidade (Marshall Jr. et al. (2006).

A figura a seguir ilustra um histograma dos valores do teor de KCl no produto semi-acabado da UOTV.

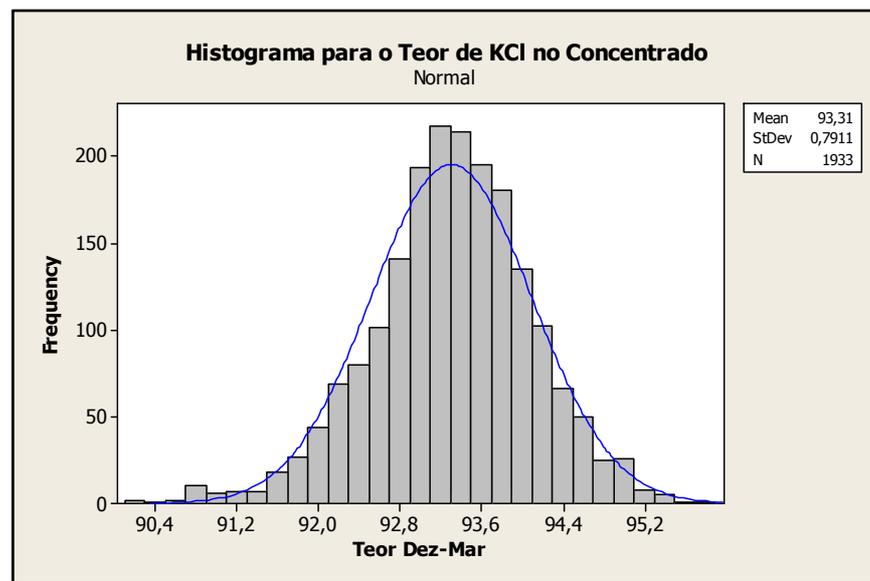


Figura 16: Ilustração de um histograma do teor de KCl no concentrado
Fonte: Estudo da qualidade do produto de KCl granulado (UOTV)

2.6.16 Cartas de controle

Cartas de controle, ou como no Controle Estatístico do Processo, chamadas gráficos de controle, são ferramentas para quantificação de eventos de um processo que está fora de controle. De acordo com Werkema (2002), as cartas de controle permitem o entendimento de como as causas de variação, que podem estar presentes em um processo, afetam os resultados do mesmo.

Carvalho e Paladini (2002) afirmam: “Em termos gerais, cartas de controle são utilizadas na detecção de alterações inusitadas de uma ou mais características de um processo ou produto e servem como alerta para a presença de eventos especiais”.

A carta de controle tem em sua construção limites de controle (limite inferior de controle - LIC, limite superior de controle - LSC), a média e limites de especificação (limite inferior de especificação – LIE, limite superior de especificação – LSE). A figura 17 traz uma ilustração.

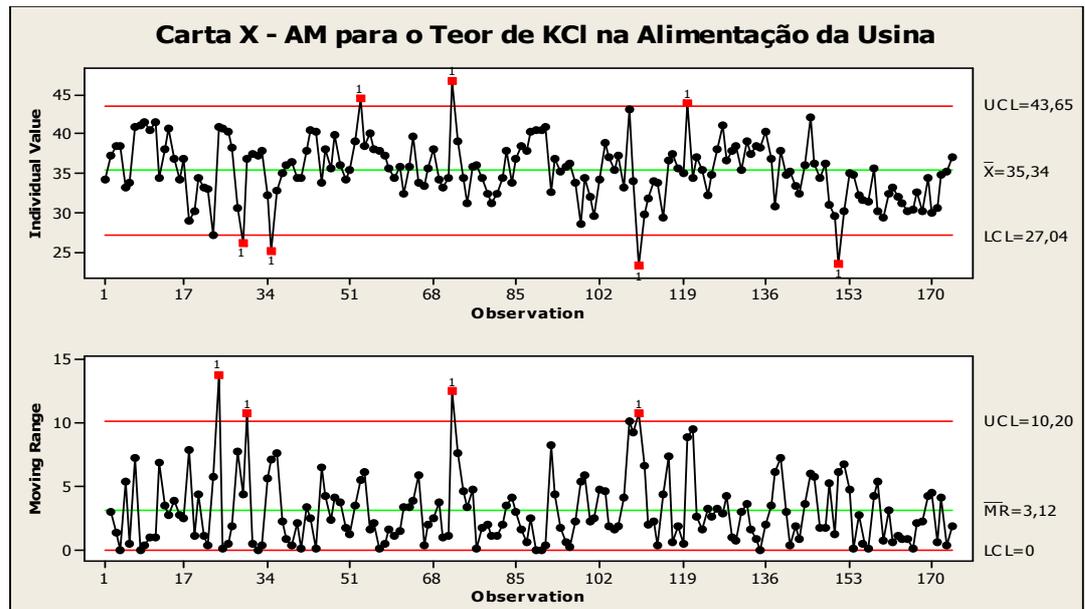


Figura 17: Ilustração de carta de controle do teor de KCl do minério alimentado
 Fonte: Estudo da qualidade do produto de KCl granulado (UOTV)

A capacidade de um processo se refere à performance desse processo com relação aos seus limites de especificações. As cartas são classificadas em 2 tipos: variáveis e atributos. O quadro a seguir traz essa classificação

Tipos de Cartas de Controle	
Variáveis	Atributos
(características mensuráveis; variáveis contínuas)	(variáveis discretas)
Média e Amplitude	Número de Artigos Não Conformes
Carta X e Carta R	Carta np
Média e Desvio Padrão	Proporções de Artigos Não Conformes
Carta X e Carta s ($n > 10$)	Carta p
Média e Variância	Número de Defeitos
Carta X e Carta s^2	Carta c
Observações individuais e Amplitudes Móveis	Número de Defeitos por unidade
Carta X e Carta MR	Carta u

Quadro 3: Tipos de carta de controle
 Fonte: O autor

2.6.17 Análise de variância

Análise de variância é uma das ferramentas do Controle Estatístico do Processo, que segundo Werkema (2002, p. 200), permite comparar vários grupos de interesse, mantendo o controle dos erros que podem ser cometidos no estabelecimento das conclusões.

2.6.18 Análise de regressão

Análise de regressão tem por finalidade processar as informações contidas nos dados, de forma a gerar um modelo que represente o relacionamento entre as diversas variáveis de um processo (WERKEMA, 2002, P. 199).

A utilização dessa ferramenta permite avaliar e determinar como as variáveis X de um processo podem ser alteradas para se alcançar uma meta qualquer relacionada à variável Y, relacionada a essas variáveis.

2.6.19 Matriz GUT

A matriz GUT – Gravidade, Urgência e Tendência, é uma matriz de priorização. Segundo Brassard (2000), é um critério que estabelece uma prioridade na resolução dos problemas, através da avaliação dos fatores: gravidade, urgência e tendência.

O fator gravidade considera a gravidade dos danos causados pela existência do problema; o fator urgência considera a pressão do tempo para se tomar as devidas ações corretivas, e o fator tendência considera que consequência o problema trará, caso nenhuma ação seja tomada.

Aqui foram apresentadas, de maneira resumida, as operações do processo de tratamento de silvinita, a fim de explicar o conhecimento do ambiente onde o estudo foi desenvolvido, assim como também conceituar as ferramentas de gerenciamento da qualidade usadas na implantação no programa Seis Sigma, para melhorar o percentual de recuperação, que foi o objeto de estudo deste trabalho.

3 METODOLOGIA

O método científico é um conjunto de regras básicas para desenvolver uma experiência a fim de produzir novo conhecimento, bem como corrigir e integrar conhecimento pré-existente. Segundo Gil (1991), “o método identifica [...] o momento de definir como se irá proceder na coleta de dados, pra encontrar soluções para problemas propostos...”.

Lakatos e Marconi (2003) definem: “Metodologia é a utilização de métodos científicos na concepção de trabalhos de pesquisa, oferecendo maior segurança no alcance dos objetivos traçados no decorrer da atividade, detectando erros e auxiliando nas decisões”.

De acordo com Gil (1991), as pesquisas se classificam quanto aos objetivos em: descritivas, exploratórias e explicativas; quanto aos meios em: bibliográficas, documental, experimental e estudo de caso; e quanto à abordagem em: quantitativa, qualitativa e quali-quantitativa.

Esta pesquisa é descritiva, por meio de um estudo de caso com uma abordagem quali-quantitativa, onde se utiliza de informações coletadas nos bancos de dados do processo de tratamento de silvinita da UOTV. Descritiva, pois são abordadas as características dos fenômenos das variáveis e perdas do processo, utilizando técnicas padronizadas. Estudo de caso, pois, é pesquisado de maneira profunda, para permitir um amplo e detalhado conhecimento, através da investigação dos fenômenos. E por fim, quali-quantitativa, pois, os resultados são levantados quantitativamente e interpretados para compreendê-los, assim como as conseqüências dos mesmos.

Os dados do estudo são analisados para compreensão e interpretação do fenômeno das variáveis do processo e as perdas incorridas, a fim de se implementar ações para melhorias de produtividade, em função do aumento da recuperação metalúrgica de silvita, utilizando-se de ferramentas de gerenciamento da qualidade, aplicadas no programa Seis Sigma.

3.1 Fases metodológicas

O estudo de caso do projeto para aumentar a recuperação metalúrgica do cloreto de potássio no processo de beneficiamento do minério silvinita, aplicando o programa Seis Sigma, foi desenvolvido em fases metodológicas do ciclo DMAIC, com a particularidade de divisões em fases. Na Vale, em qualquer projeto Seis Sigma, o DMAIC é dividido em onze fases, as quais estão ilustradas no quadro abaixo.

D	Fase 1 - Identificação das prioridades Fase 2 - Estabelecimento da meta geral
M	Fase 3 - Desdobramento do problema Fase 4 - Determinação de oportunidades nas variações Fase 5 - Estabelecimento das metas específicas
A	Fase 6 - Identificação das causas potenciais Fase 7 - Quantificação e priorização das causas potenciais
I	Fase 8 - Teste de medidas e elaboração do plano de ação Fase 9 - Execução
C	Fase 10 - Verificação Fase 11 - Ações a serem executada

Quadro 4: Fases metodológicas do DMAIC na Vale

Fonte: O autor

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados de recuperação metalúrgica e a eficiência de produtividade são proporcionais aos indicadores de retorno financeiro em uma indústria de mineração. Na extração de silvinita da UOTV, a média percentual de teor de KCl diminuiu ao longo dos anos e impactou diretamente os resultados da produção de cloreto de potássio. A fim de melhorar os níveis de produção de forma a minimizar o efeito da redução do teor de KCl na mina, implantou-se o programa Seis Sigma, para aumentar a recuperação do Cloreto de Potássio no processo de beneficiamento do minério silvinita.

A seguir são apresentados os resultados da aplicação do Seis Sigma no projeto: aumento da recuperação metalúrgica de cloreto de potássio na UOTV, assim como a implantação de ações para melhorias com continuidade. O método cíclico utilizado nesse projeto foi o DMAIC, subdividido em onze fases.

4.1 Etapa *Define*

Nessa etapa do projeto, compreendida em duas fases, foram identificadas as prioridades dos problemas de produção da UOTV e estabelecida a meta geral do projeto, após a identificação do problema e avaliação do seu histórico e impacto sobre os resultados. Em síntese, foi definido o escopo do projeto.

4.1.1 Identificação das prioridades - Fase I

Em 2005 foi concluída uma expansão da usina, com instalação de uma nova área de filtração, secagem e compactação, além da aquisição de mais equipamentos como centrífugas, objetivando um aumento de 120 mil toneladas de potássio granulado ao ano. Na mina, o investimento foi na aquisição de mais um minerador *Marieta*, totalizando 5 em 2006, para aumentar em aproximadamente 100 ton/h de minério para beneficiamento. Mas os volumes de produção estimados não foram atingidos e as metas de produção foram baixadas. Em 2007, a produção caiu,

fazendo-se necessária a implantação de melhorias para minimizar o impacto negativo nos resultados, com a aplicação do programa Seis Sigma.

Com uma Matriz de Priorização, mostrada no quadro 5, definiu-se qual o projeto Seis Sigma a ser iniciado ainda no primeiro trimestre de 2008.

BAIXA PRODUÇÃO DA UOTV				
		Baixa produção da Mina	Baixa produção da Usina	Total
Causa potencial	Peso (5 a 10)	8	10	
	Disponibilidade física do Minerador	5	0	40
	Disponibilidade física do <i>Shuttle Car</i>	3	0	24
	Baixo teor do minério	0	4	40
	Disponibilidade física do poço de içamento	5	0	40
	Prospecção geológica	2	0	16
	Recuperação metalúrgica	0	5	50
	Excesso de carnalita	1	2	28
	Disponibilidade do acabamento	0	3	30

Quadro 5: Matriz de priorização dos problemas de produção

A diminuição da recuperação metalúrgica na usina gerou prejuízos financeiros significativos, exigindo uma rápida solução do problema e concentração de esforços a fim de resolvê-lo, iniciando com a descrição do problema e seu histórico para definição da meta do projeto e seu retorno financeiro.

4.1.1.1 descrição e histórico do problema

Houve uma redução do teor de KCl no minério lavrado (silvinita) na mina, que conseqüentemente ocasionou a redução da recuperação metalúrgica de cloreto de potássio no processo de tratamento da usina. O gráfico 1 mostra a tendência da redução da recuperação metalúrgica, paralelamente à redução do teor do minério, entre março de 2006 e novembro de 2007. O baixo teor no minério impacta na diminuição da recuperação.

No início de 2007, os painéis de silvinita lavrados apresentaram teores de KCl reduzido. Estudos realizados pelo setor de geologia identificaram essa mudança na característica do minério, que apresentava até início de 2006 um teor médio de 29% de KCl. Hoje esse teor médio é de 26%, e essa nova realidade impacta

significativamente na produção, gerando grandes perdas financeiras como já mencionado anteriormente.

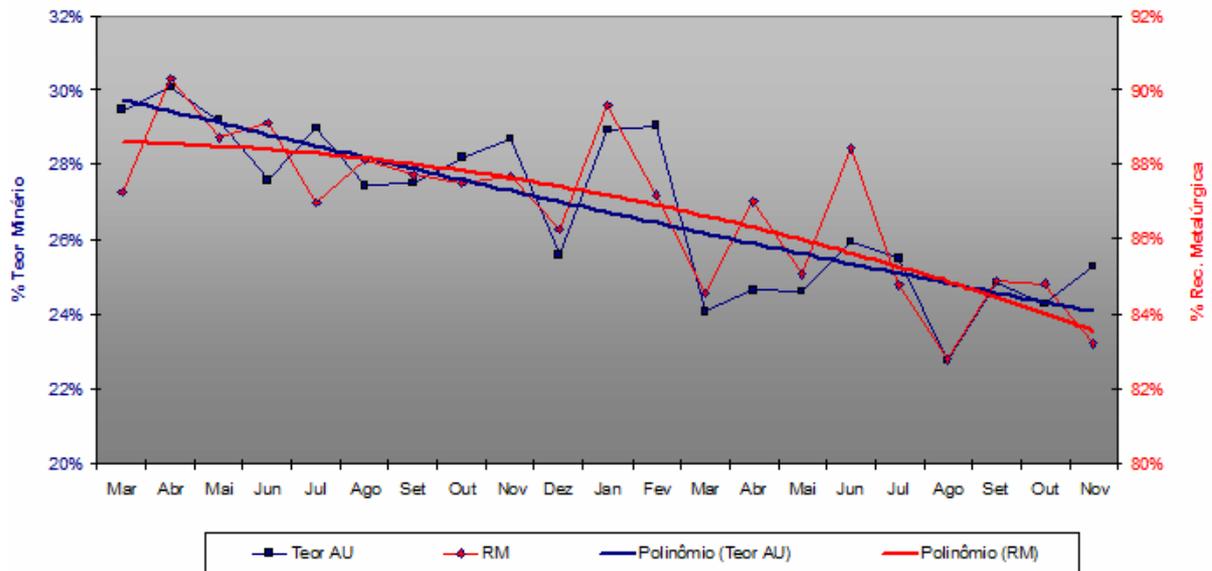


Gráfico1: Recuperação metalúrgica x Teor de KCl no minério

O histórico dos dados nos últimos 2 anos mostra que a diminuição na recuperação iniciou-se em março de 2007, e apresenta uma tendência decrescente, como mostra o gráfico 2.

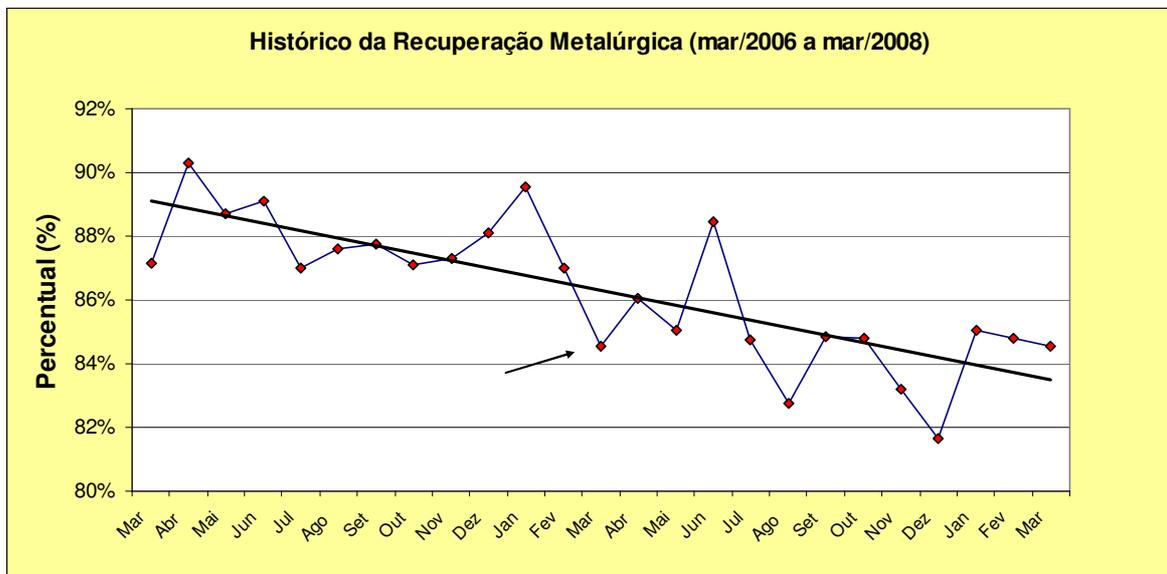


Gráfico 2: Histórico da Recuperação metalúrgica

Com a mudança na característica do minério, o aumento da recuperação metalúrgica deverá ser conseguido com a redução das perdas de potássio inerentes ao processo.

Esse histórico evidencia a anomalia na produtividade da usina da UOTV.

4.1.1.2 perdas financeiras

O impacto econômico da baixa recuperação metalúrgica foi calculado em função das perdas de potássio. A tabela 4 mostra o cálculo das perdas financeiras, tomando-se como período base março de 2007 a fevereiro de 2008.

Tabela 4 - Perdas financeiras

Totalizador do período base	Magnitude
Massa Alimentação (ton)	2.765.834
Teor Alimentação (%)	24,86
Massa de KCl Alimentado (t)	687.540
Recup. Metalúrgica média (%)	84,66
Massa de KCl Recuperado (t)	582.072
Massa de KCl perdido (t)	105.469
Preço médio US\$/ton de KCl	416,53
Perda financeira (US\$)	43.930.865,8

Com a descrição e histórico do problema de recuperação metalúrgica de potássio e suas perdas financeiras, foi realizada uma análise para estabelecimento da meta do projeto, a seguir.

4.1.2 Estabelecimento da meta geral - Fase II

De acordo com o histórico da recuperação metalúrgica, a média era de mais de 88,05% no período de março/2006 a fevereiro/2007. Essa média caiu para 84,66% no período de março/2007 a fevereiro/2008, de acordo com o gráfico a seguir, construído com os dados do anexo A. Para retornar ao patamar de recuperação de 88,05%, era necessário um incremento de 3,4% na recuperação metalúrgica sobre o valor atual.

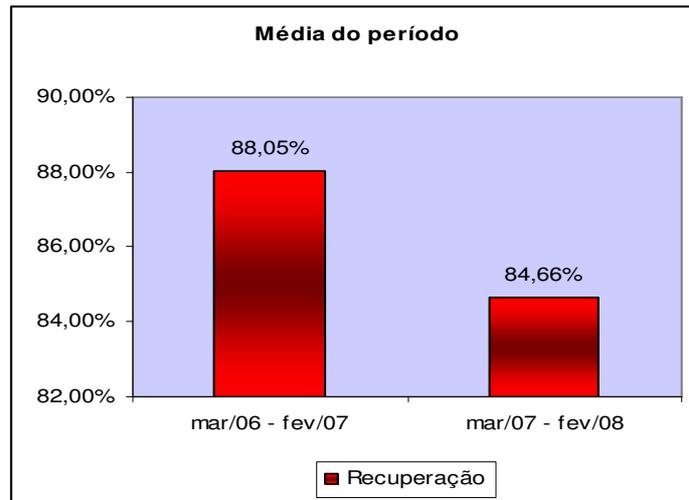


Gráfico 3: Média da Recuperação metalúrgica

Assim, a meta estabelecida para o projeto: aumento da recuperação metalúrgica da UOTV foi aumentar a recuperação metalúrgica da usina em 3,40% até outubro de 2008. Esta data foi escolhida em função do período base para cálculo da redução na recuperação, que foi março/2007 a fevereiro/2008. A data início do projeto foi março de 2008, conforme mostrado no *project chart* que traz a definição do escopo, retorno financeiro e a meta do projeto. Os cálculos dos ganhos previstos estão no anexo B.

Programa Seis Sigma Project Chart

Data de emissão:	08/03/2008	Revisão:	1	Motivo da Revisão:	
------------------	------------	----------	---	--------------------	--

1. DADOS GERAIS

Participante (s)	1 Bleck Belt, 2 Green Belts, 3 Yellow Belts			Mês de treinamento	fev/08
Diretoria	DIMB	GG:	GEFEW	GA:	GAFUW
Gerentes responsáveis	GG:		GA:		
Formação	Bleck Belt	Orientador			

2. DADOS DO PROJETO

Projeto	Aumentar a recuperação metalúrgica da usina			Início do projeto	março-08
Indicador (unidade de medida)	%: (massa de KCl Produção / massa de KCl alimentada - balança da usina)			Fonte do indicador	Planilha Planprod
Valor Base	84,66	Período Base	Mar/07 a Fev/08	Valor a ser alcançado	88,00
Prazo	Out/08	Período de verificação	Nov/08 a Jan/09	Percentual da meta	3,40%
Tipo de ganho	volume	Retorno financeiro estimado (US\$/ano)	8.194.061,89	Valor do câmbio	Data do câmbio
Meta	Aumentar a recuperação metalúrgica em 3,4% (de 84,66% período base: Mar/07 a Fev/08 - para 88% - período de verificação: Nov/ 08 a jan/ 09) até Out/08.				
Descrição do problema	A recuperação metalúrgica apresentou uma queda significativa a partir de agosto/07 e tem mantido-se abaixo do patamar de referência.				
Outros ganhos com o projeto	Maior confiabilidade nas medições, menor variabilidade no processo operacional e maior controle do inventário de Salmoura.				
Dificuldades já percebidas quando da revisão 0	Forte influência da variação do teor de minério (ruído) sobre a recuperação metalúrgica da usina.				
Sugestão do orientador	Realizar análises conforme cronograma.				

Figura 18: *Project Chart* do projeto: aumento da recuperação metalúrgica da UOTV

4.2 Etapa *Measure*

Nesta etapa, compreendida em três fases, o problema de recuperação metalúrgica foi observado e analisado, em função das perdas de potássio nas operações do processo de tratamento do minério, visto que a novas característica do minério (teor de KCl reduzido), como já mencionado, não podem ser controladas. Essas três fases visam à identificação de quais são as operações e onde se concentram as maiores perdas, à quantificação das perdas e ao desdobramento através da estratificação. Esta estratificação facilita a visualização dos principais

pontos críticos das perdas de potássio, para a elaboração de metas específicas, e ajuda na determinação das oportunidades de melhoria.

Foi decidido usar dados já existentes nos bancos de dados da empresa, além de dados levantados por medições do laboratório químico.

4.2.1 Desdobramento do problema - Fase III

Nessa fase foi realizado um debate sobre as possíveis causas de perdas de potássio no processo em uma sessão de *brainstorming*, onde foram sugeridas pelos participantes as principais operações em que ocorrem as perdas de potássio, que foram:

- processo de flotação;
- alimentação de minério na usina;
- processo de filtração do rejeito;
- processo de deslamagem;
- estocagem da salmoura.

A figura 19 mostra o fluxograma com as etapas do processo, analisadas na sessão de *brainstorming*.

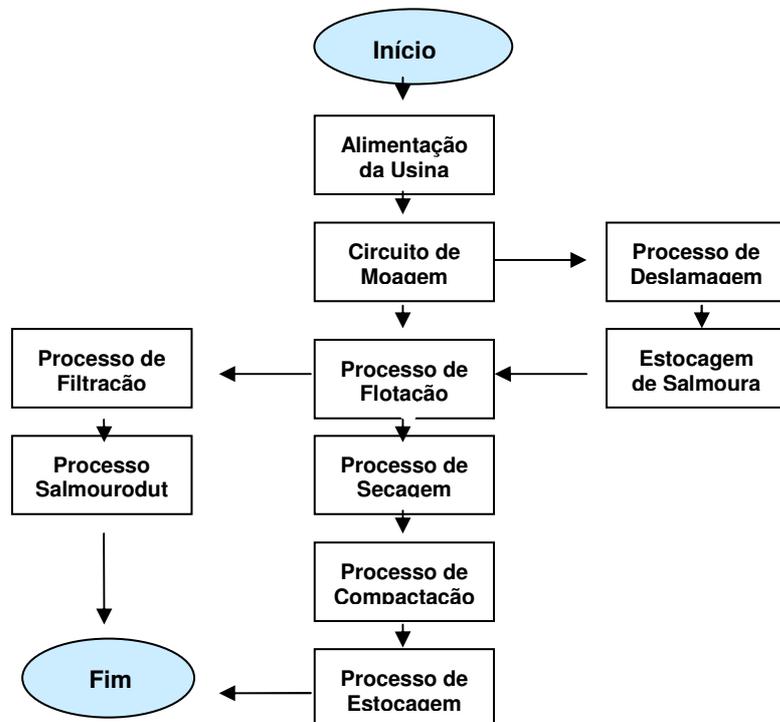


Figura 19: Fluxograma do processo onde ocorrem possíveis perdas de potássio.

Na sessão de *brainstorming* sugeriu-se também que as perdas são em função das condições operacionais nos processos do fluxograma da figura 19, erros e imprecisão nas medições necessárias para o cálculo da recuperação, e a reologia (características do minério e qualidade dos insumos). Esses três fatores, que influenciam no resultado da recuperação metalúrgica, estão no diagrama de causa e efeito da figura 20.

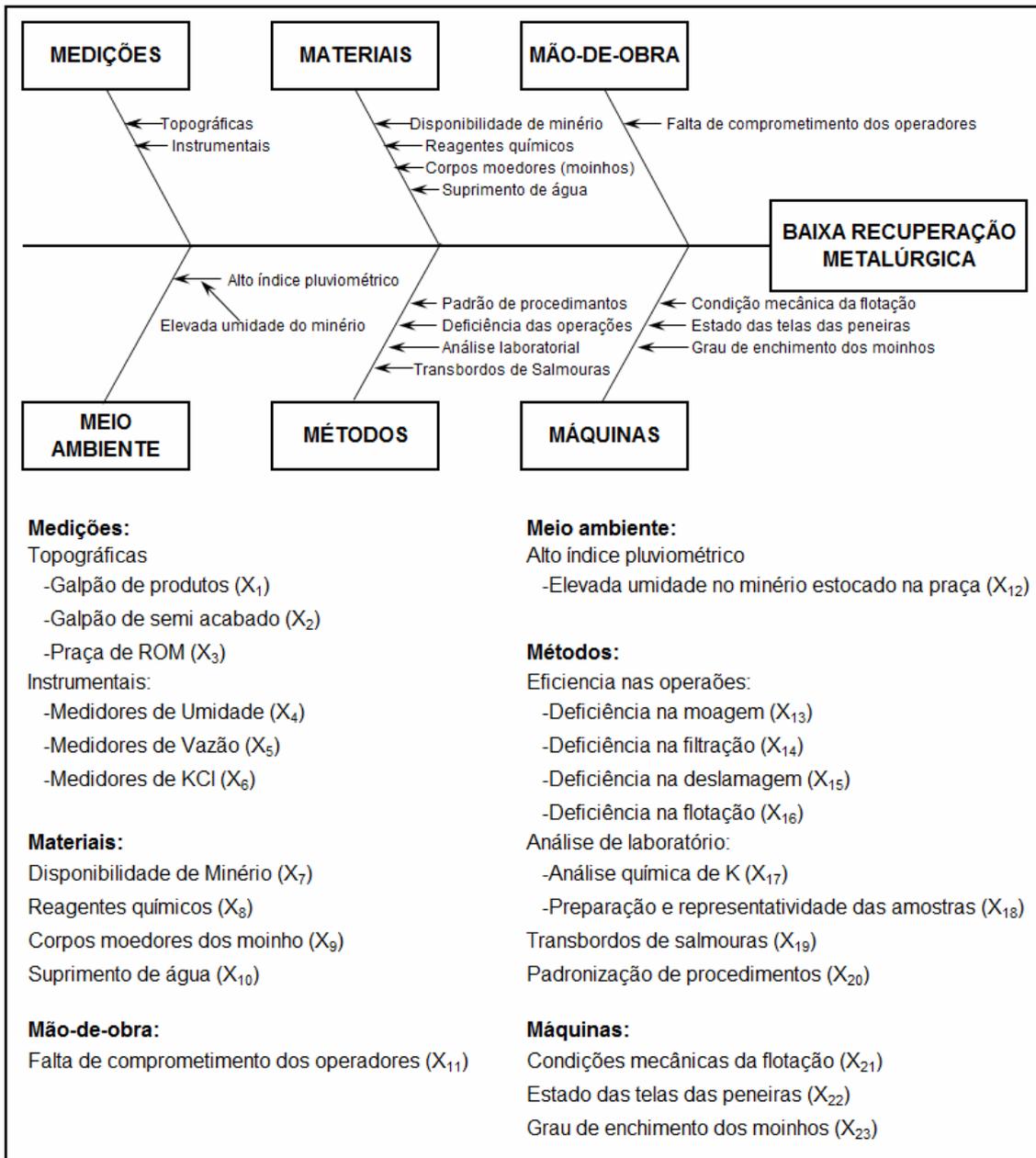


Figura 20: Diagrama de causa e efeito das perdas de potássio.

Esse diagrama mostra, de maneira organizada, as causas potenciais que produzem o efeito da baixa recuperação metalúrgica.

4.2.2 Determinação de oportunidades nas variações – Fase IV

Nesta fase foi analisada a variabilidade do fenômeno que gera cada problema crítico, identificando oportunidades de melhorias nas variações.

O gráfico de Pareto a seguir, mostra as causas potenciais que contribuíram para as perdas de 105.469 mil toneladas de potássio entre março/2007 a fevereiro/2008, evidenciando que as mais significativas estão na deficiência da flotação (indicada pelo teor de KCl no rejeito) e na deficiência na filtração (indicada pela umidade do rejeito). Essa umidade indica a quantidade de cloreto de potássio perdido que está dissolvido na salmoura do rejeito.

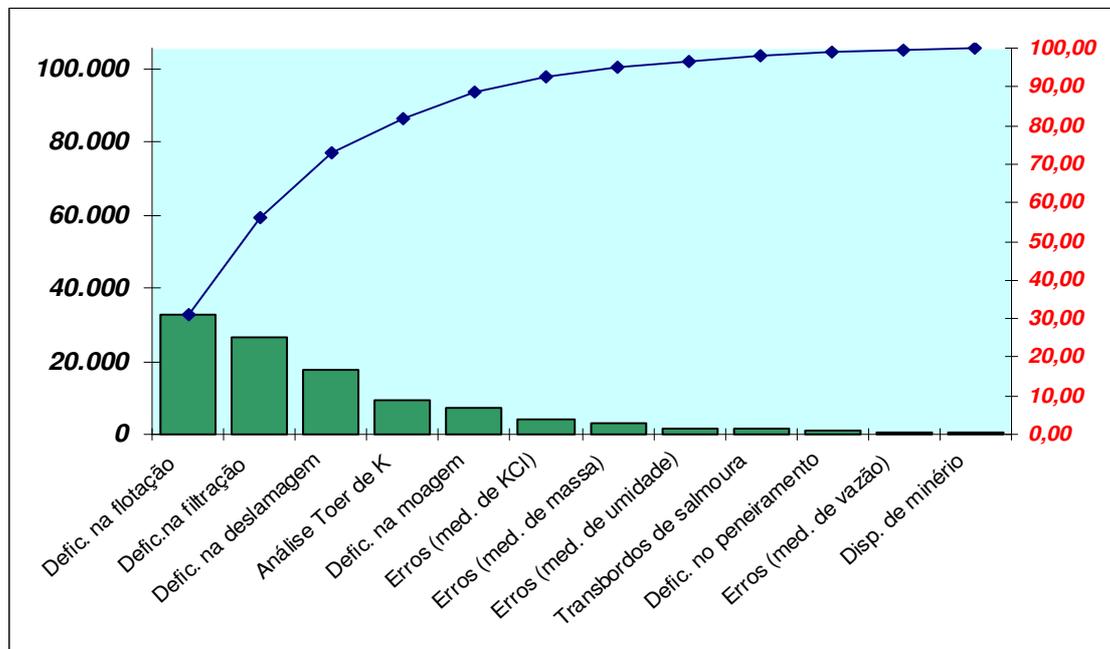


Gráfico 4: Estratificação das causas potenciais de perdas de potássio

As figuras das cartas de controle e histogramas de capacidade a seguir, construídas no Minitab, software de ferramentas estatísticas, facilitam a visualização da quantidade de eventos especiais (valores fora dos limites de especificação) e fora da normalidade (distribuição normal) dos teores de KCl e umidade no rejeito. Os dados coletados nos bancos de dados da empresa estão no anexo C e são referentes ao período de janeiro/2007 a março/2008.

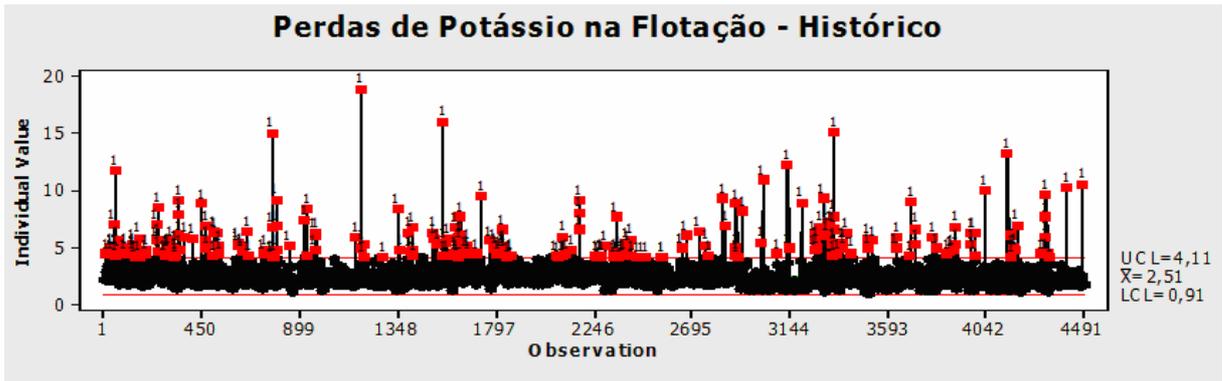


Figura 21: Carta de controle da perda de potássio na flotação

Os dados da figura 21 apresentam uma média de 2,51% de teor de KCl no rejeito, com um limite de especificação superior de 4,11%. Esse limite é considerado elevado para controle de processo e ainda evidencia muitas ocorrências especiais (eventos em destaque vermelho). Esses eventos são os resultados do teor de KCl no rejeito acima do limite de especificação superior.

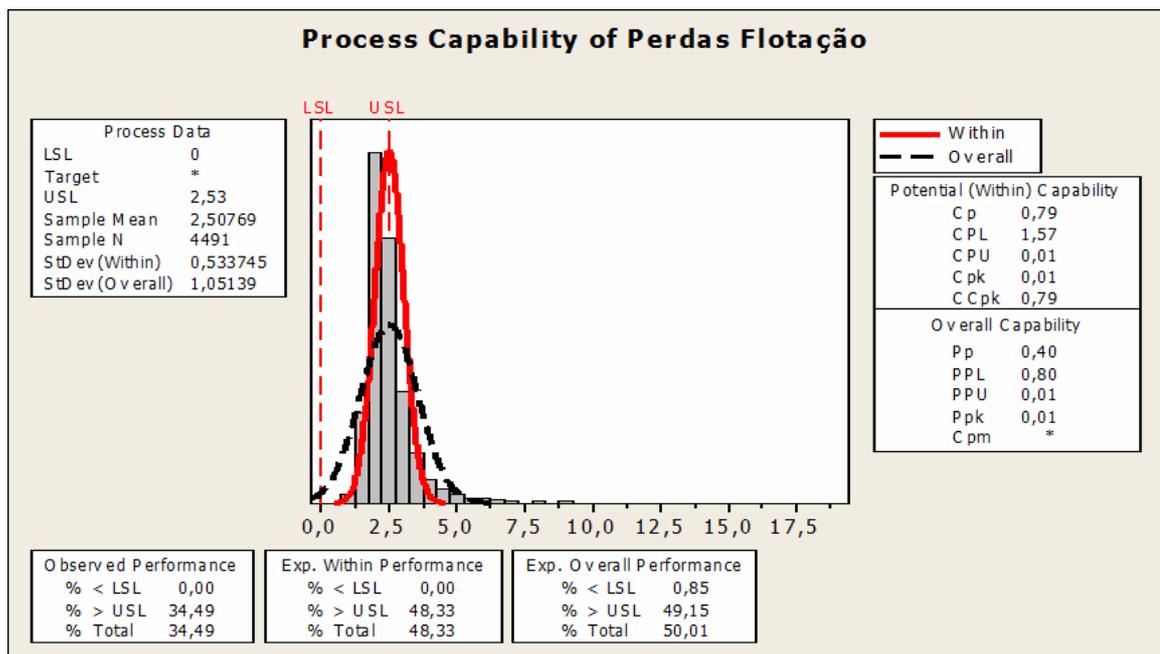


Figura 22: Histograma dos teores KCl no rejeito

No histograma mostrado na figura 22, 34,49% dos resultados estão acima do limite superior de especificação, ou seja, em toda população de dados plotados no histograma, quase 35% estão fora de controle operacional. Quanto menor esse teor de KCl no rejeito do processo, menores as perdas, ou seja, maior a recuperação metalúrgica.

A figura 23 da carta de controle da umidade do rejeito mostra elevada deficiência na filtração e descontrole com o limite superior de especificação de 9,91%, muito distante da

média de 7,53%, além das muitas ocorrências dos eventos especiais (destacados em vermelho). O ideal seria recuperar ao máximo essa salmoura, que contém, como já mencionado anteriormente, 11% de KCl em sua composição.

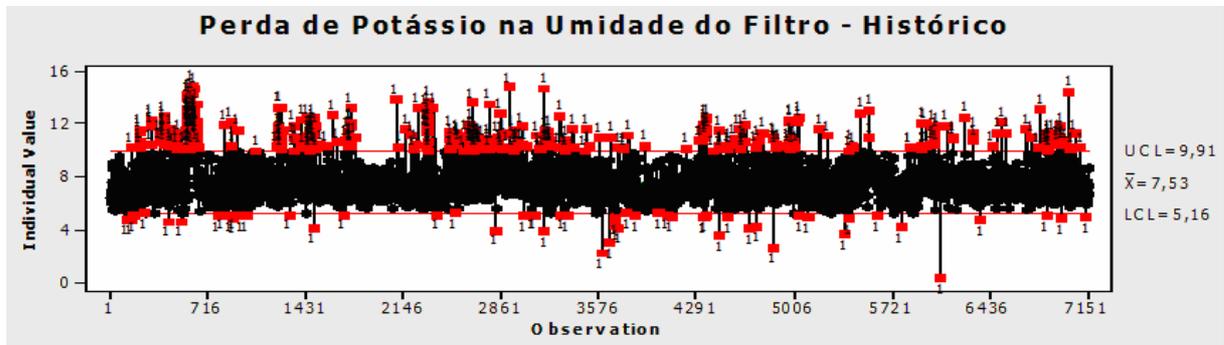


Figura 23: Carta de controle da umidade do rejeito

No histograma da figura 24, 40,82% dos valores de umidade do rejeito estão acima do limite superior de especificação, o que mostra grandes perdas de potássio.

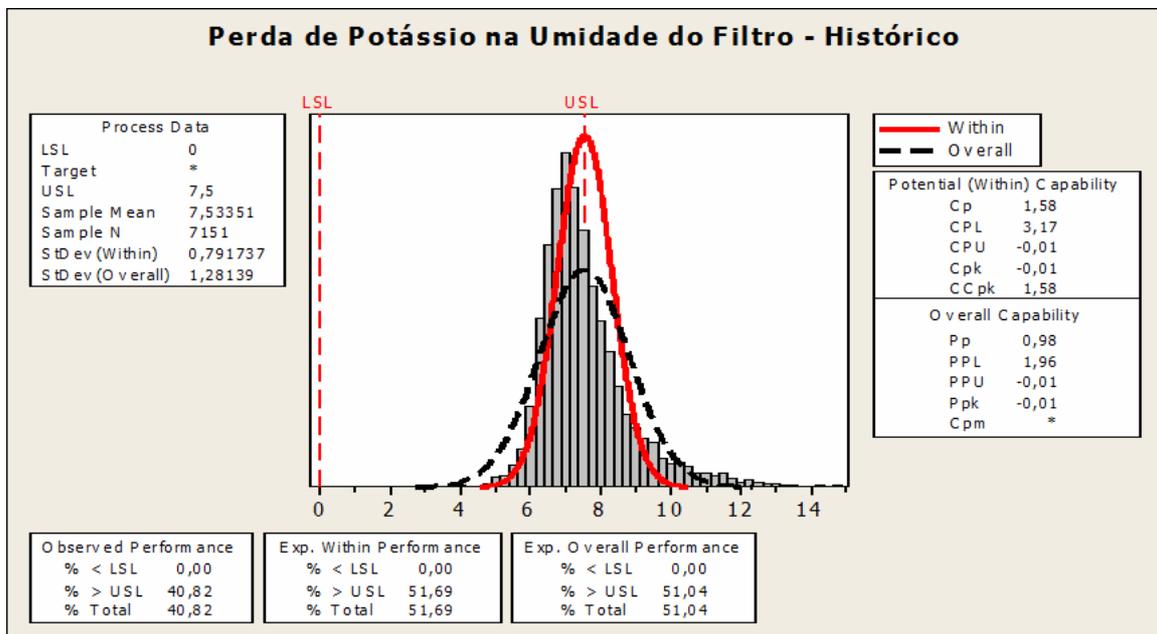


Figura 24: Histograma da umidade do rejeito da flotação

As melhores oportunidades de melhorias e focalização das ações para diminuição de perdas de potássio e conseqüente aumento na recuperação metalúrgica, evidenciadas anteriormente, são os pontos críticos para o estabelecimento de metas específicas, a seguir.

4.2.3 Estabelecimento das metas específicas – Fase V

Determinadas as melhores oportunidades de melhorias nas variações, para melhor direcionar os esforços de trabalho para resolução do problema, metas específicas foram estabelecidas, com o objetivo de redução de perdas de KCl para o atingimento da meta geral - aumentar a recuperação metalúrgica em 3,4%. Utilizando-se um simulador para o cálculo da recuperação de potássio final, após a redução de perdas, focalizadas no processo de flotação, filtração, deslamagem e análise química do potássio, além dos transbordos de salmoura, algumas metas mais específicas foram sendo estabelecidas. Os dados coletados e mensurados para o simulador estão no anexo D.

Com esse simulador, construído em *Visual Basic*, apresentado na figura 25, definiram-se as metas, considerando as operações controláveis, que serão apresentadas na etapa *Analyze*:

- Reduzir a perda de Cloreto de Potássio no processo de Flotação em 20%, medida através do teor da torta do filtro 35-FV-01, ou seja, reduzir o teor da torta do filtro de 2,61% para 2,09%;
- Reduzir desvio de -0,26% na análise do teor de Cloreto de Potássio no minério alimentado;
- Reduzir perdas com transbordo de salmoura de processo (contendo 11% KCl), perdas por fluidização nos leitos fluidizados da Secagens 01 e 02, perdas por emissão de material particulado nas linhas de compactação, estocagem e expedição em 16,20%;
- Reduzir a perda de Cloreto de Potássio no processo de Deslamagem, no fluxo do *underflow* do 23-DC-01 (Decantador), em 26,3%, ou seja, reduzir a perda de 0,24% para 0,18%.
- Reduzir a perda de Cloreto de Potássio no processo de Filtragem em 5%, medida através do teor de umidade da torta do filtro 35-FV-01, ou seja, reduzir a umidade da torta do filtro de 7,53% para 7,15%;

A figura 25 mostra o simulador com os valores das metas específicas definidas, a serem alcançadas.

	De	% Redução	Para
Rejeito Final (Perdas na Flotação e umidade TF)	2,61%	20,00%	2,09%
Impacto do desvio Análise Química AU	0,29%	90,00%	0,03%
Outras (medições, transbordos e outras)	2,76%	16,20%	2,31%
Perda KCl fluxo Lama	0,24%	23,34%	0,18%
Total das Perdas	5,90%		4,61%

Cálculo da Recuperação Final com as reduções implementadas 88,00%

ESTABELECIMENTO DE METAS ESPECÍFICAS
 Reduzir perdas e desvios relacionados abaixo, até Dez/2008:

- 01) Reduzir perdas KCl no rejeito da flotação (Torta do Filtro) em 20%;
- 02) Eliminar desvio analítico no teor do minério alimentado (erro de -0,26%);
- 03) Reduzir outras perdas (medições, transbordos, etc.) em 16,2%
- 04) Reduzir perdas de KCl no fluxo da deslamagem (Lama) em 23,34%.

Simulando: → RM Atual	84,7%
01)	86,0%
02)	86,7%
03)	87,9%
04)	88,0%

Figura 25: Simulador do ganho de recuperação metalúrgica

O quadro 6 mostra um resumo do ganho em recuperação metalúrgica gerado pelo simulador, com o atingimento das metas específicas estabelecidas, onde se têm as perdas mensuradas atuais e o quanto será necessário reduzir essas perdas para o ganho na recuperação metalúrgica e o percentual de atingimento da meta final – recuperação metalúrgica de 88%. Por exemplo, as perdas de KCl no rejeito atual é de 2,61%; reduzindo-a em 20%, essa perda cairá para 2,09% e a recuperação metalúrgica aumentará em 1,3%. Ou seja, à medida que as perdas forem reduzidas, os ganhos de recuperação aumentarão.

Metas Específicas

	Perda Atual	Redução da perda	Metas Específ.	Ganho em Recuperação Metal.	Atingimento da meta
Recuperação Atual	-	-	-	84,7%	0,00%
Reduzir perdas KCl no rejeito da flotação (Torta do Filtro)	2,61%	20%	2,09%	86,0%	51,40%
Eliminar desvio analítico no teor do minério alimentado (erro de -0,26%)	0,29%	90,00%	0,03%	86,7%	76,57%
Reduzir outras perdas (Balanças, transbordos, etc.)	2,76%	16,20%	2,31%	87,9%	91,96%
Reduzir perdas de KCl no fluxo da deslamagem (Lama)	0,24%	23,34%	0,18%	88,00%	100,00%

Quadro 6: Resumo dos ganhos de recuperação com atingimento das metas específicas

Em função dessas metas, foram elaborados planos de ação, que estão detalhados na etapa *Improve*, mas antes foram identificadas e priorizadas as causas potenciais das perdas de potássio na etapa seguinte à *Analyse*.

4.3 Analyze

Esta etapa é muito importante, pois as causas mais significativas do problema são priorizadas, para que a visão das oportunidades seja ampliada e as ações de melhoria planejadas de forma eficiente e objetiva.

4.3.1 Identificação das causas potenciais – Fase VI

Foi elaborado o mapa de processo dos fluxos do produto e rejeito, conforme figura 26, para relacionar os parâmetros de processo e seus produtos; e identificar as causas potenciais geradoras do problema de recuperação metalúrgica da usina de tratamento de silvinita.

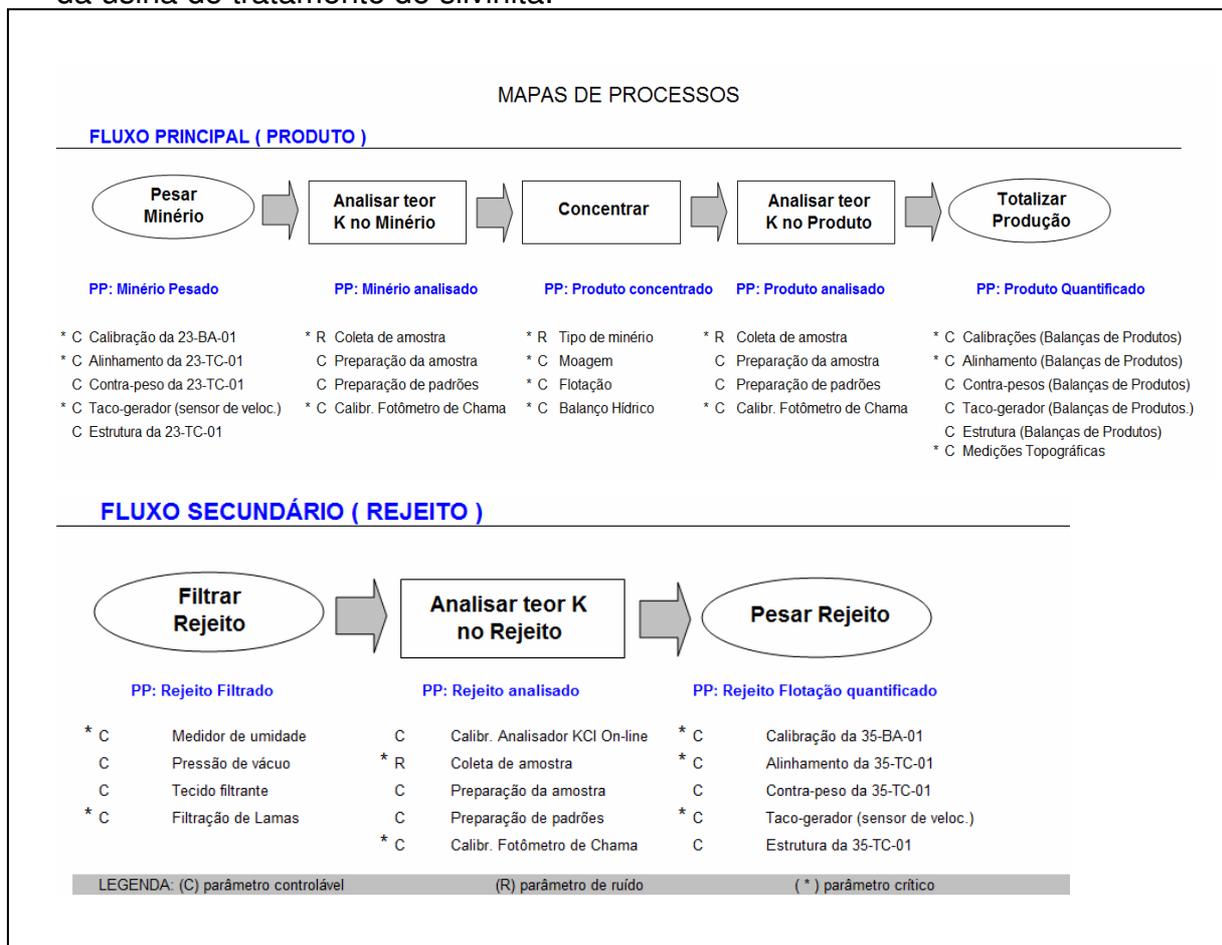


Figura 26: Mapa de processo das causas potenciais de perdas

No mapa de processo foi documentado o conhecimento existente sobre o fluxo do processo do produto e processo do rejeito, visando à focalização dos fatores críticos causadores das perdas significativas.

Em todas as etapas dos processos têm-se parâmetros críticos, identificados com o asterisco (*), conforme legenda do mapa, e quase todos são controláveis (C), sendo nas etapas de “concentrar” do fluxo principal e na etapa “filtrar rejeito” do fluxo secundário, onde ocorrem as principais perdas de potássio, conforme dados levantados na fase *Measure*.

A seguir, as causas potenciais geradoras do problema de recuperação metalúrgica serão priorizadas, para o melhor direcionamento dos esforços nas ações de melhorias na etapa *Improve*.

4.3.2 Quantificação e priorização das causas – Fase VII

As causas potenciais, identificadas no mapa de processos, foram priorizadas de acordo com a criticidade do parâmetro identificado pelo asterisco (*) e possibilidade de controle (C) do parâmetro, analisado no mapa de processo da figura 26. Foram priorizadas as causas potenciais de perdas de potássio relacionada às operações dos quadros 7 e 8, após sessões de *Brainstorming*, onde se usou a Matriz GUT – Gravidade, Urgência e Tendência para priorização.

Sessão de <i>Brainstorming</i>					
Etapa - Concentrar minério do fluxo principal (produto)		Priorização			
Operação	Causas potenciais de perdas de potássio	G	U	T	Total
Flotação	Baixa eficiência de reagentes (coletor, depressor, espumante)	9	8	5	360
	Deficiência de classificação (peneiramento, centrifugação)	10	9	8	720
Moagem	Grau de enchimento dos moinhos	10	10	8	800
	Distribuição de carga (% de sólidos)	9	8	6	432
Balanço hídrico	Falha operacional	8	8	8	512
	Falha na medição da variação volumétrica de estoque de salmoura	9	7	6	378

Quadro 7 – Causa potenciais da etapa concentrar do mapa principal

De acordo com o quadro 7, o grau de enchimento dos moinhos e a deficiência de classificação são as mais significativas, conforme o resultado da Matriz GUT.

Sessão de <i>Branistorming</i>					
Etapa - Filtrar Rejeito do fluxo secundário (rejeito)		Priorização			
Operação	Causas potenciais de perdas de potássio	G	U	T	Total
Medição de umidade	Descalibração no equipamento	9	9	7	567
	Altura da torta de rejeito	8	7	3	168
Pressão de vácuo	Ineficiência da bomba de vácuo	10	10	5	500
	Qualidade da água de selagem	9	8	5	360
Tecido filtrante	Rasgos no tecido	8	8	7	448
	Desalinhamento da esteira	7	8	5	280

Quadro 8 – Causa potenciais da etapa Filtrar Rejeito do mapa secundário

De acordo com o quadro 8 da Matriz GUT, a descalibração do instrumento de medição de umidade, a ineficiência da bomba de vácuo e os rasgos no tecido filtrante são as causas potenciais prioritárias.

Diante dos resultados mostrados, os esforços para as ações de melhorias foram direcionados para as causas potenciais relacionadas no quadro 9, com as sugestões de condições ideais, ou seja, condições necessárias.

FOCO 01 – Desequilíbrios na Flotação		
Causas potenciais	Condição Atual	Condição Ideal
Descontrole no Grau de enchimento dos Moinhos	< 28%	entre 30% e 33%
Descontrole na % Sólidos nas descargas dos Moinhos	20% > %S > 60%	40% > %S > 50%
Elevado teor de KCl no Rejeito da Flotação	2,60%	2,10%
FOCO 02 - Eficiência na Filtragem		
Causas potenciais	Condição Atual	Condição Ideal
Elevado teor de Umidade na Torta do Filtro	> 8%	< 8%
Filtração Fluxo da Lama	Não realizado	Realizar
FOCO 03 - Erros de Medição		
Causas potenciais	Condição Atual	Condição Ideal
Falta PRO calibração Balanças Integradoras	Sem PRO	Uso PRO
Desvio na análise química KCl	Desvio -0,26%	Sem desvio
Frequência na calibração dos medidores de KCl on-line	Mensal	Semanal
Falta de Medidor de umidade on-line	Sem Medidor	Com Medidor

Quadro 9: Causa potenciais x fatores causais críticos

Após identificação e priorização das causas potenciais da etapa *Analyze*, partiu-se para busca de soluções com a implantação de ações de melhorias, descritas na etapa a seguir.

4.4 Improve

Nesta etapa foram aplicadas soluções para atingimento das metas específicas e implantação de melhorias e, conseqüentemente, atingimento da meta geral: aumentar a recuperação metalúrgica em 3,4%, ou seja, atingir e manter o patamar de 88%. Esta etapa é subdividida em duas fases.

4.4.1 Teste de medida e elaboração do plano de ação – Fase VIII

Os planos de ação para ajuste, correção e melhorias nas operações e processos foram elaborados priorizando as causas potenciais identificadas anteriormente, focalizando a redução das perdas de potássio ocorridas em algumas operações, baseadas nos dois primeiros pilares de sustentação para o projeto: medições e condições operacionais.

Ainda foram implantadas outras ações paralelas como acompanhamento e padronização nas calibrações de equipamentos de medições das variáveis: vazões, massas, teor e umidade.

Após a análise e discussão das soluções, o plano de ação elaborado segundo a técnica 5W1H, envolveu equipes de manutenção, instrumentação e operação, mostrados nos anexos E e F.

4.4.2 Execução do plano – Fase IX

Até março de 2009, foram executadas 81,25% das ações do plano, tais quais estão evidenciadas a seguir.

- Elaboração de PRO (procedimento operacional) para calibração das balanças integradoras, evidenciada com lista de frequência de treinamento dos executantes da atividade, evidenciada no anexo G.
- Treinamento no procedimento operacional da moagem (PRO 0002), revisado para melhoria no processo de amostragem e inclusão do controle sobre o

percentual de sólidos nas descargas dos moinhos 23-MN-01, 02, 03 e 04 (Anexo H).

- Verificação da confiabilidade dos resultados de análises do teor de KCl no minério silvinita, através do envio de amostras para análise interlaboratorial no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT, evidenciada com o laudo de análise no Anexo I.
- Calibração dos analisadores de teor de KCl em toda a faixa de medição. O gráfico 4 mostra a correlação entre os teores de KCl medidos pelo instrumento analisador indicador de teor (AIT 23-01) e os teores determinados pelas análises químicas do laboratório da UOTV, para elaboração da curva de calibração do instrumento, através do erro relativo entre as duas medições. O gráfico mostra que as medições de KCl do instrumento são muito próximas (erro relativo baixo) das medições do laboratório, quando os teores estão em torno de 30% aproximadamente.

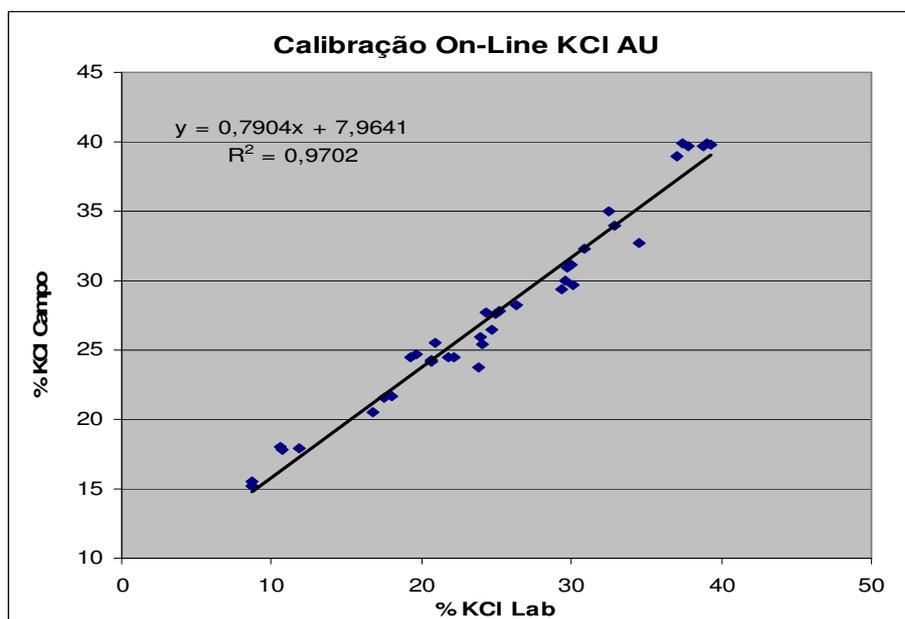


Gráfico 5: Correlação entre as medições de KCl no laboratório e no AIT 23-01

- Instalação do medidor indicador de umidade (MIT 35-01) na esteira do filtro, para medição do teor de KCl no rejeito final após reparos no sensor do instrumento. O gráfico 5 mostra a redução do teor médio de KCl no rejeito final de 21,1%, reduzindo de 2,61%, no período de jan/2007 a mar/2008, para 2,06% em fevereiro/09.

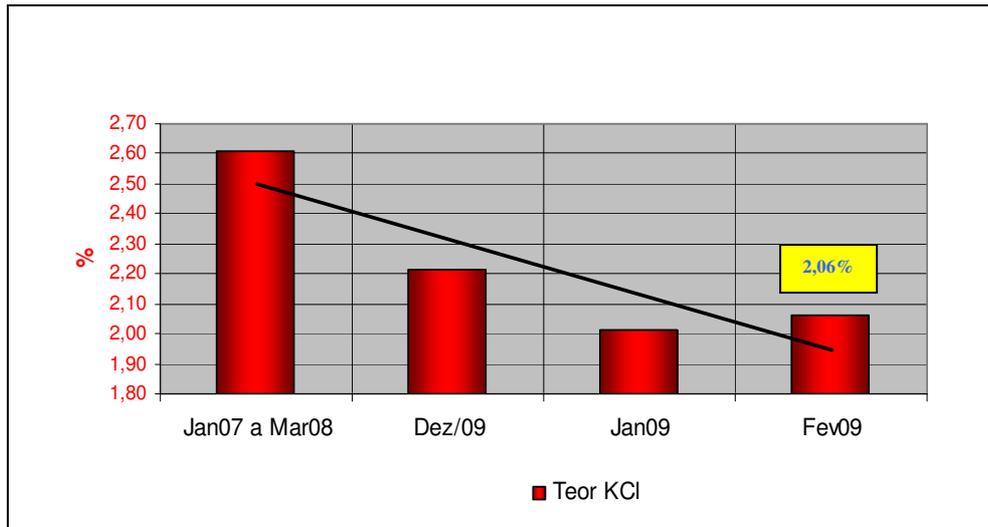


Gráfico 6: Redução do teor de KCl no rejeito da flotação

- Transferência do instrumento de medição de umidade da secagem para a área da filtragem e realização da calibração do instrumento em toda a faixa de medição. O gráfico 6 mostra a redução de 3,49% na umidade média da torta de rejeito, reduzindo de 7,53% em jan/2007 a mar/2008 para 7,27% em fev/2009.

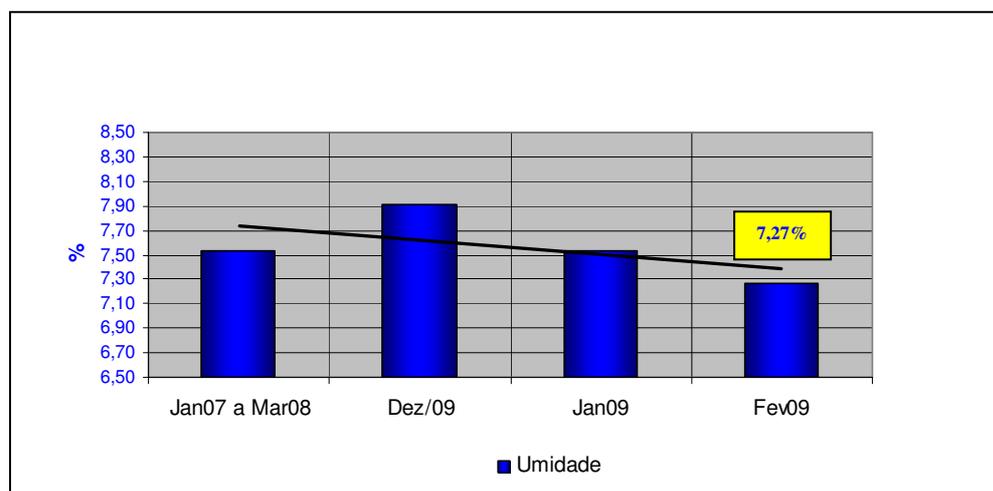


Gráfico 7: Redução da umidade no rejeito final

- Sistematização e controle do enchimento dos moinhos com os corpos moedores. Antes do projeto Seis Sigma, não havia nenhum controle desse procedimento muito importante para a eficiência da moagem na concentração. O gráfico 7 mostra os dados desse procedimento antes e depois do Projeto Seis Sigma, evidenciando uma tendência quase linear após o projeto Seis Sigma.

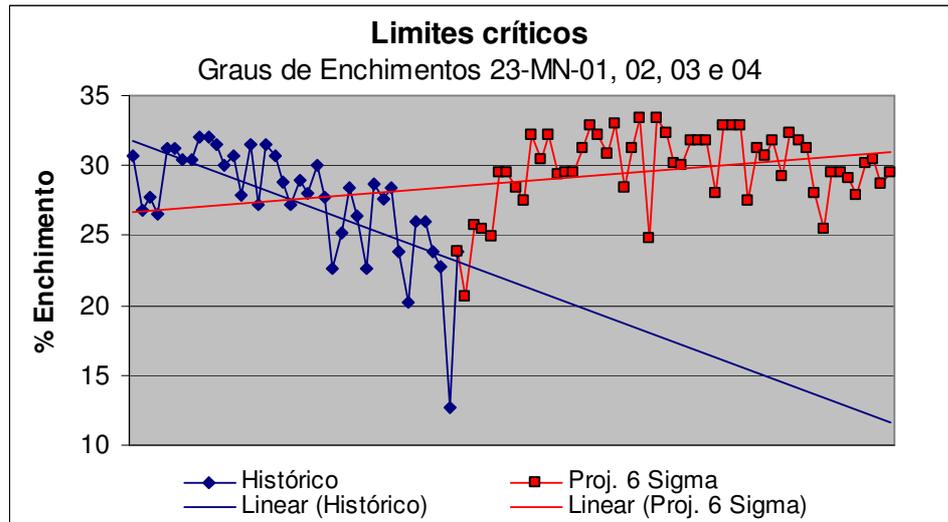


Gráfico 8: Percentual de enchimento dos moinhos

- Modificação do sistema de bombeamento de lama do decantador 01 da área de concentração (fluxo do *underflow* do 23 DC 01), que apresenta teor aproximado de 21% de KCl em massa seca para o filtro (35 FV 01). O bombeamento era direcionado para descarte direto pelo salmouroduto, agora é direcionado para o filtro, objetivando o aproveitamento da salmoura saturada com 11% de KCl. As fotos 1 e 2 mostram a modificação desse sistema.



Foto 1: Evidência da modificação no sistema de descarte da lama



Foto 2: Evidência da aplicação da lama sobre o filtro

Houve uma redução nas perdas de potássio, mesmo sem a conclusão de todas as ações do plano. Os gráficos 6 e 7 mostram claramente a recuperação da salmoura e a redução do teor de potássio na torta do rejeito final da flotação. Dando prosseguimento, na próxima e também final etapa do programa Seis Sigma, os resultados são verificados.

4.5 Control

Nesta última etapa do ciclo *DMAIC* são avaliados os resultados do projeto obtidos em larga escala, com o objetivo principal de monitoramento para o alcance das metas de longo prazo.

4.5.1 Verificação – Fase X

Nos últimos meses, após a implementação do programa, verificou-se um aumento expressivo na recuperação metalúrgica, desde as primeiras ações de melhoria.

O resultado final do projeto superou a meta de 88% em 0,5%, ou seja, houve um ganho de 0,44% a mais de recuperação metalúrgica, conforme mostrado no gráfico 9.

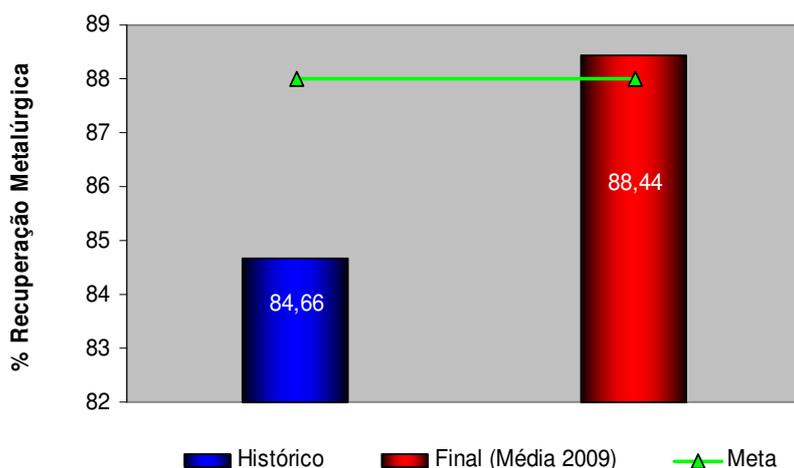


Gráfico 9: Resultados do projeto

Esse resultado é referente ao primeiro trimestre de 2009. É um resultado de curto prazo. Os dados para construção do gráfico estão no Anexo J.

A verificação das perdas de cloreto de potássio será constante para assegurar a continuidade e manutenção desse resultado, realizando um ciclo de PDCA.

4.5.2 Ações a serem executadas – Fase XI

Ainda serão executadas algumas ações de melhoria para garantir que os resultados obtidos de recuperação metalúrgica tenham continuidade. Essas ações envolvem :

- Sistematização das calibrações periódicas dos instrumentos de medição: balança, analisadores e medidores via sistema de planejamento e manutenção MÁXIMO (*software* usado para Gestão da Manutenção na Vale), com frequência de emissão e execução de OS (ordem de serviço) semanal.
- Treinamento nos procedimentos de calibração das balanças e operação da moagem com frequência anual, ou sempre que houver revisão dos mesmos.
- Controlar a frequência de substituição das peneiras na concentração, para melhorar a eficiência de classificação e conseqüentemente a eficiência da flotação.

- Adquirir reagentes de potássio rastreáveis, usados na calibração dos fotômetros de chama.
- Treinar mais colaboradores da unidade no programa Seis Sigma para envolvimento de todos os níveis hierárquicos e formação de mais equipes Seis sigma.

Todas as medições, análises e ações realizadas resultaram em ganhos na recuperação metalúrgica, mostrando claramente que simples melhorias fazem diferença nos resultados, e que algumas variáveis básicas do processo, como por exemplo, o percentual de sólidos da polpa, que alimenta a flotação, exige um maior controle operacional.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo aumentar a recuperação metalúrgica de cloreto de potássio no processo de beneficiamento do minério silvinita, utilizando a metodologia Seis Sigma. Os resultados mostram que o mesmo foi alcançado. A metodologia Seis Sigma reúne partes essenciais de outros programas de qualidade com a característica de focalizar o problema em estudo. E foi essa característica que tornou o uso da metodologia um sucesso.

Na fundamentação teórica foram apresentadas as principais operações do processo de beneficiamento de silvinita para entendimento do cenário do estudo, assim como os conceitos e histórico do programa Seis Sigma e das ferramentas de qualidade comumente utilizadas, para embasar a aplicação das mesmas durante a realização do trabalho.

A partir da fundamentação teórica e dos estudos realizados na área de mineração de potássio, bem como a produtividade em contrapartida com as recuperações minerais, foi aplicada a metodologia Seis Sigma para resolução de um problema, que desencadeou em virtude de uma condição característica da geologia do minério, perdas financeiras significativas. A solução foi encontrada na redução de perdas inerentes ao processo produtivo, ampliando as possibilidades de ganhos em operações que não tinham a atenção merecida.

Este estudo permitiu identificar as causas das perdas produtivas e as melhores oportunidades com o conhecimento do histórico do problema em questão, sendo levantadas as causas fundamentais do problema, através de ferramentas estatísticas e aplicadas soluções para minimização dos impactos relativos a essas perdas. Os resultados foram excelentes, visto que a meta de aumentar a recuperação metalúrgica em 3,4% foi alcançada e até superada, pois se obteve um ganho de 0,44% a mais e com apenas 81,25% das ações de melhorias implantadas até o momento. O resultado da recuperação metalúrgica média mostrada na análise de resultados foi de 88,44%, enquanto que a meta era 88,0%.

O desafio maior desse projeto Seis Sigma de recuperação metalúrgica será manter esse resultado, visto que foram observadas grandes variações nos parâmetros do processo, o que dificulta o controle operacional. Por isso, ainda foram sugeridas na fase IX da etapa *Control* algumas ações, principalmente a de formação de mais equipes Seis Sigma, visando consolidar o uso da metodologia em toda a unidade.

Acredita-se que com o conhecimento profundo, tanto dos processos produtivos quanto da correta aplicação da metodologia Seis Sigma, muitos problemas poderão apresentar oportunidades de ganho em produção e melhores resultados financeiros, antes invisíveis no cotidiano da empresa.

REFERÊNCIAS

BRASSARD, M. **Qualidade – Ferramentas para uma melhoria contínua**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2000, p 88.

BRASIL, Nilo Índio do. **Introdução à engenharia Química**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência -Petrobras, 2004, p. 137-139.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento pelas diretrizes**. 4. ed. Nova Lima – MG: INDG Tecnologia e Serviços Ltda. 2004, 26 p.

_____. **Controle da Qualidade Total**. 6. ed. Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CAMPOS, M. S., **Em busca do padrão Seis Sigma**. Rev. Exame, São Paulo, ed. 989, a. 32, n. 11, p. 74-78, 1999.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2. reimpressão, 2005, p. 2-6 , 132-141.

DELLARETTI, Osmário Filho; DRUMOND, Fátima Brant. **Itens de Controle e Avaliação de Processos**. 2.ed. Fundação Christiano Ottoni, 1994.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade, e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark. 2001.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Mariana de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas. 2003.

LEAL FILHO, L. S.; MASINI, E. A.; MOURA, R. L. Flotação de Cloreto de Potássio (Silvita). In: CHAVES, A. P. (Org.) **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. Vol 4. São Paulo: Sigmus Editora, 2006, p.235 a 242.

LUZ, A. B. da; POSSA, M. V.; ALMEIDA, S. L. da (Ed). **Tratamento de Minérios**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq. 1998.

MARSHALL JR., Isnard et al. **Gestão da qualidade**. 8. ed. Rio de Janeiro: FGV 2006, p. 128 – 131.

PANDE, P.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001.

PERES, A. E. C.; ARAUJO, A. C. A flotação como operação unitária no tratamento de minérios. In: CHAVES, A. P. (org.) **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. Vol 4. São Paulo: Sigmus Editora, 2006, p. 01 – 2.

PEREZ-WILSON, M. **Seis Sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed. 1999.

PINTO, S. H. B.; CARVALHO, M. M. de; LEE HO, L. **Implementação de Programas de Qualidade: um Survey em empresas de grande porte no Brasil**. São Paulo, v. 13, n 2. p, 191-203, 2006. Disponível em: <http://www.abepro_enegep.or.br> Acesso em 15 mar. 2009.

Programa Seis Sigma: aspectos sinérgicos com outras abordagens de gerenciamento da qualidade. Rev. Produção On Line, ISSN 1676-1901, v. 9, n. 1. 2009. Disponível em: <<http://www.producaoonline.org.br> > Acesso em 09 mar. 2009.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. **Modelo de referência para estruturar o Seis Sigma nas organizações**. São Carlos, v. 15, n. 1, p. 43-56, 2008.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

Portal Vale: <<http://www.vale.com.br>> Acesso em 12 mar. 2009.

Portal do Ministério da Agricultura: <<http://www.agricultura.gov.br>> Acesso em 16 mar. 2009.