



REDEMAT

REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP – CETEC – UEMG



Tese de Doutorado

"SELEÇÃO DE MATERIAIS E ANÁLISE DE VALOR: METODOLOGIA *BALANCED SCORECARD* DE ENGENHARIA DA QUALIDADE APLICADA AO ESTUDO DO DESGASTE E COROAS DE PERFURAÇÃO DE UMA EMPRESA DE SONDAGEM"



Autor: Zirlene Alves da Silva Santos
Orientador: Prof. Dr. Adilson Rodrigues da Costa

JULHO 2012



REDEMAT

REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP – CETEC – UEMG

Zirlene Alves da Silva Santos

**"SELEÇÃO DE MATERIAIS E ANÁLISE DE VALOR:
METODOLOGIA *BALANCED SCORECARD* DE
ENGENHARIA DA QUALIDADE APLICADA AO ESTUDO DO
DESGASTE E COROAS DE PERFURAÇÃO DE UMA
EMPRESA DE SONDAÇÃO"**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Análise e Seleção de Materiais
Orientador: Prof. Dr. Adilson Rodrigues da Costa

Ouro Preto, Julho de 2012

S237s

Santos, Zirlene Alves da Silva Santos.

Seleção de materiais e análise de valor [manuscrito] : metodologia *Balanced Scorecard* de engenharia da qualidade aplicada ao estudo do desgaste e corrosão de perfuração de uma empresa de sondagem / Zirlene Alves da Silva Santos. – 2012.

115f.: il. color.; graf., tabs.; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Adilson Rodrigues da Costa.

Teses (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Rede Temática em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Análise e Seleção de Materiais.

1. Qualidade - Teses. 2. Desgaste abrasivo - Teses. 3. *Balanced Scorecard* (BSC) - Teses. 4. Análise de valor (Controle de Custo) - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU: 620.193:658.56



REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP - CETEC - UEMG

Pós-Graduação em Engenharia de Materiais



**“Seleção de Materiais e Análise de Valor: Metodologia
Balanced Scorecard de Engenharia da Qualidade Aplicada
ao Estudo do Desgaste de Coroas de Perfuração de Uma
Empresa de Sondagem”**

Autor(a): Zirlene Alves da Silva Santos

Tese defendida e aprovada, em 23 de julho de 2012, pela banca examinadora
constituída pelos professores:

Prof. Adilson Rodrigues da Costa (Doutor) - Orientador
Universidade Federal de Ouro Preto / REDEMAT / DEMET

Prof. Eurycibiaes Barra Rosa (Doutor)
EBR Assessoria Técnica e Empresarial Ltda

Prof. Carlos Roberto Ferreira (Doutor)
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto

Prof. João Esmeraldo da Silva (Doutor)
Universidade Federal de Ouro Preto

Prof. Fernando Gabriel da Silva Araújo (Doutor)
Universidade Federal de Ouro Preto / REDEMAT / DEFIS

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sabedoria e saúde.

A minha família.

Ao meu orientador Prof. Dr. Adilson Rodrigues da Costa pelo comprometimento.

Ao Prof. Dr. Fernando Gabriel da Silva Araújo.

Ao Prof. Dr. Luiz Cláudio Cândido.

Ao Técnico-Administrativo, Graciliano Dimas Francisco, do Laboratório de Tratamentos Térmicos e Metalografia do DEMET.

À Samarco representada por Vinícius Senna Moreira e Ricardo Mattioli pela contribuição na pesquisa sobre a utilização do *Balanced Scorecard* ou medida de desempenho na Gestão.

À FIAT Automóveis representada por Cristina Okano pela contribuição na pesquisa sobre a utilização do *Balanced Scorecard* ou medida de desempenho de Gestão.

À Santa Clara Distribuidora de Ferro e Aço representada pelo Diretor Mestre Ricardo Aluizio Machado Maia.

À Geosol representada por Marciano Macedo.

À Ana Maria de Souza Alves e Silva – Secretária da REDEMAT.

À Ana Maria Coelho Neves pelo apoio e amizade.

Aos professores André Luis Silva e Washington Luis Vieira da Silva pelo apoio e contribuição.

Aos mestrandos Júlio e Claudiano pela contribuição nos trabalhos realizados no laboratório e em Campo;

Aos professores Dr. Carlos Roberto Ferreira e Dr. João Esmeraldo da Silva pela participação na banca examinadora.

"A inteligência é o único meio que possuímos para dominar os nossos instintos"

Sigmund Freud

RESUMO

Este estudo aborda o desenvolvimento de uma metodologia que associa gestão, Engenharia de materiais e Tribologia. Na gestão a pesquisa teve como enfoque o BSC (*Balanced Scorecard*) ou medida de desempenho. Trata-se de uma ferramenta de gestão estratégica. Utilizou-se a Engenharia da Qualidade, especificamente o Planejamento de Experimentos para fazer a combinação de variáveis e análise estatística. Na Engenharia de Materiais o estudo focou na seleção de materiais. Na Tribologia foi pesquisado o desgaste. Para o desenvolvimento da metodologia intitulada BSCEQ utilizou-se primeiramente pesquisa estruturada com especialistas sobre o conhecimento do BSC e a viabilidade da metodologia. Os especialistas são das áreas de mineração, siderurgia e indústria automobilística. Com o resultado, foi possível definir os principais indicadores para a metodologia. Com os indicadores definidos, foi possível incorporar à metodologia a técnica estatística Planejamento de Experimentos ou DOE (*Design Of Experiment*). A metodologia foi aplicada ao desgaste de componentes, da indústria mineral, especificamente, coroas de perfuração para soldagem geológica. A aplicação foi realizada inicialmente com a definição das perspectivas de uma empresa de perfuração, área da pesquisa. As perspectivas foram chamadas de entrada e concentravam-se na visão financeira, clientes internos e externos, processos internos, aprendizado e crescimento. No processo foram consideradas as variáveis controláveis e não controláveis, ou seja, as informações de campos sobre o desempenho das coroas e os resultados dos ensaios de desgaste das matrizes realizado no laboratório de engenharia de superfícies e técnicas afins. Com base nas análises, foi possível entender a necessidade do processo. Dessa forma foi realizado planejamento de experimentos com as composições químicas de todas as coroas, considerando os resultados de desgaste e a litologia do solo (friável, fraturável e compacto). Com base no resultado do planejamento foi possível desenvolver um protótipo. Realizou-se ensaio de desgaste no protótipo utilizando o mesmo critério das outras matrizes. Assim, alcançou-se otimização do desgaste das coroas no processo de perfuração mineral. Com a aplicação da metodologia foi possível definir as variáveis não controláveis relacionadas ao sistema produtivo, que influenciam no desempenho do processo. A pesquisa demonstrou que a Gestão, Engenharia de Materiais e Tribologia podem ser complementares.

ABSTRACT

A methodology entitled *Balanced Scorecard Quality Engineering* (BSQE) that associates management, material engineering, and tribology was developed and is presented in this study. To achieve this, various engineering fields were involved. First, a strategic management tool denominated *Balanced Scorecard* (BSC) or performance measurement was the highlight of this study. Second, Quality Engineering, specifically Experimental Planning, was used to determine a combination of variables. Finally, using Material Engineering, the studied material was selected and with tribology methods, its wear was determined. To develop a feasible BSQE methodology, a structured research with specialists on *Balanced Scorecard* was performed. These specialists were from the mining, siderurgy and automobile industry fields. This action provided the main indicators for the methodology, which in turn, were incorporated into a statistical program, designated *Design of Experiment* (DOE). Then, this theoretical model was applied to define the wear of the components from the mineral industry; specifically drilling crowns for geological welding. The application was initially performed using the specifications of the drilling company used in this study. These specifications were used as input data and concentrated on the areas of finance, management, internal processes, knowledge improvement and growth. Both controllable and uncontrollable variables were considered; i.e. crown performance, results from samples tested for wear at the engineering laboratory for surfaces and other related techniques. Based on this analysis, it was possible to understand the need for the process. Using this data, DOA program was run for the chemical composition of all the crowns, taking into consideration their wear and the soil lithology (friable, fractured and compact). The results provided by this program created the possibility of developing a prototype. Then this prototype was subjected to the same criteria as the other samples resulting in the optimization of the crown wear used in mineral drilling. With the BSCQE application, it was possible to define the uncontrollable variables related to the productive system, which influenced the performance of the process. The results of this research demonstrate that Management, Material Engineering, and Tribology can be complimentary with the used of an adequate management model.

LISTA DE SIGLAS

BET - *Brunauer, Emmett, Teller*

BSC - *Balanced Scorecard*

BSCEQ - *Balanced Scorecard de Engenharia da Qualidade*

Cu - Cobre

DOE - *Desing of Experiment*

Fe – Ferro

FMEA - *Failure Mode and Effect Analyse*

FTA – *Falt tree analysis*

ICEB – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas

ISO - *International Organization for Standardization*

LTDA – Limitada

LTM

MEV – EDS -

Mf - Massa Final

Mi - Massa inicial

NBR – Norma Brasileira

PDCA - *Plan, Do, Check, Action*

SBSC – Sustentabilidade utilizando o *Balanced Scorecard*

SiC – Carboneto de Silício

TF - Tempo Final

TQC - *Total Quality Control*

UFOP _ Universidade Federal de Ouro Preto

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

UNICENP – Centro Universitário Positivo

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.4.1.1 Equação de Achard.....	17
Equação 3.4.1.2 Equação de Hutchings.	17
Equação 3.4.1.3 Equação de Cassino <i>et al</i>	18
Equação 3.7.1 Modelo Teórico experimento fatorial 2^k	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Quatro componentes da Ciência e Engenharia de Materiais e seu inter-relacionamento linear	2
Figura 1.2 Interação entre função, material, processo e forma	3
Figura 1.3 Coroa A: após utilização no processo de sondagem; Coroa B: antes de ser submetida ao processo de sondagem.....	5
Figura 1.4 Equipamento de sondagem (Perfuratriz)	6
Figura 1.5 Haste de avanço da Perfuratriz.....	6
Figura 1.6 Coroas fabricadas para processo de sondagem.	7
Figura 3.4.1.1 Mecanismos de remoção de material no desgaste abrasivo.. (a) microsulcamento, (b) microcorte e (c) microtrincamento.	16
Figura 3.4.2 Desenho esquemático de ensaios de desgaste de pino contra discos.....	19
Figura 3.4.2.1 Taxa de desgastes específicos em relação à velocidade	20
Figura 3.4.2.2 Taxa de desgaste em relação à carga	21
Figura 3.4.2.3 Taxa de desgaste em relação à distância de deslizamento.....	21
Figura 3.4.2.3 Equipamento de micro-abrasão.....	22
Figura 3.4.2.4 Equipamento de micro-abrasão.....	23
Figura 3.5.1 Modelo geral PDCA.	28
Figura 3.5.2 Diagrama de Trilogia Juran.	29
Figura 3.6.1 Hierarquia da Equipe Seis Sigma.	32
Figura 3.7.1 Estratégia de um experimento.....	34
Figura 3.7.2 Modelo de sistema produtivo adaptado ao DOE.	39
Figura 3.7.3 Rodada de DOE – Experimento fatorial fracionado.....	40
Figura 3.8.1 As quatro perspectivas do <i>Balanced Scorecard</i>	45
Figura 3.8.2 O <i>Balanced Scorecard</i> como estrutura para ação estratégica	46
Figura 3.8.3 Evolução do <i>Balanced Scorecard</i>	47
Figura 3.9.1 Coroas antes e depois da perda de material.	51
Figura 3.9.2 Preparação do pó para fabricação da amostra.....	52
Figura 3.9.3 Histograma com curva normal MI amostras.....	53
Figura 3.9.4 Máquina de abrasão por esfera	54
Figura 3.9.5 Histograma da Massa final das amostras.	55
Figura 3.9.6 Resultado do ensaio de microscopia óptica	55

Figura 3.9.7 Resultado do ensaio de microscopia óptica	56
Figura 3.9.8 Resultado do ensaio de microscopia óptica	56
Figura 3.9.9 Resultado do ensaio de microscopia óptica	56
Figura 3.9.10 Histograma medida das calotas impressas	57
Figura 3.10.1 Pesquisa sobre o conhecimento da ferramenta estratégica BSC.....	58
Figura 3.10.2 Pesquisa sobre o conhecimento da metodologia BSCEQ.....	58
Figura 3.10.3 Indicadores estratégicos de desempenho.	59
Figura 3.10.4 Indicadores estratégicos de desempenho.	60
Figura 4.1 Diagrama da metodologia BSCEQ aplicado ao processo de sondagem mineral....	62
Figura 4.2 Efeitos padronizados das combinações.....	65
Figura 4.3 Probabilidade de interação entre variáveis.	65
Figura 4.4 Molde cilíndrico de grafite.....	66
Figura 4.5 Preparação do protótipo – colocação de soldante.....	67
Figura 4.6 Preparação do protótipo – colocação de soldante.	67
Figura 4.7 Amostra retirada do forno após processo de abrasagem.....	68
Figura 4.8 Medidas de formato de grãos de sílica.....	69
Figura 4.9 Medidas de formato de grãos de sílica.....	69
Figura 4.10 Microscópio LEIKA D 4500 P	70
Figura 4.11 Histograma da distribuição granulométrica da sílica.....	70
Figura 4.12 Calota impressa no protótipo Z1.....	72
Figura 4.13 Análise comparativa entre o desgaste das amostras e o desgaste do protótipo.....	72
Figura 4.14 Ensaio de microdureza Vickers.	73
Figura 4.15 Ensaio de microdureza Vickers.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.4.1 Fenômenos Tribológicos.	15
Tabela 3.4.2 Composição química do pistão.....	19
Tabela 3.4.2.1 Parâmetro do ensaio de micro-abrasão.....	23
Tabela 3.5.1 Componentes da qualidade total.....	30
Tabela 3.7.1 Aplicações e resultados do DOE.	37
Tabela 3.7.2 Diferentes notações para o planejamento fatorial 2^3	39
Tabela 3.8.1 Integração recurso BSC x Agentes compras verdes.....	48
Tabela 3.9.1 Perspectivas e indicadores previstos para a pesquisa	50
Tabela 3.9.2 Parâmetros de ensaios de desgaste.	52
Tabela 3.9.3 Massa inicial (Mi).....	53
Tabela 3.9.4 Massa final (Mf).	54
Tabela 3.9.5 Diâmetro das calorias impressas nas amostras.	56
Tabela 3.10.1 Indicadores estratégicos – Empresas de mineração, automobilística e siderurgia	58
Tabela 4.1 Diâmetros das calotas impressas nas amostras.....	62
Tabela 4.2 Composição e faixa granulométrica dos pós que compõem as fases dispersas metálicas.....	63
Tabela 4.3 Composição do protótipo.	66
Tabela 4.4 Análise BET da sílica	70
Tabela 4.5 Dados do ensaio de macrodureza Vickers.....	74
Tabela 4.6 Coeficiente de desgaste das coroas.....	74
Tabela 5.1 Objetivos Específicos.	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 Objetivos.....	8
2.2 Objetivos Específicos	8
2.3 Hipótese.....	8
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1 Ciência dos Materiais	9
3.2 Engenharia de Materiais	10
3.3 Seleção de Materiais e Projetos e Desenvolvimento de Produtos	12
3.4 Tribologia: Conceitos e Características	14
3.4.1 Desgaste Abrasivo e Desgaste de Ligas	15
3.4.2 Ensaio de Desgast de Ligas	18
3.5 Controle de Qualidade Total: Conceitos e Definições	24
3.6 Engenharia da Qualidade.....	30
3.7 Planejamento e Experimentos	33
3.8 <i>Balanced Scoricard</i> – Medida de Desempenho	41
3.9 Materiais e Métodos	48
3.10 Desenvolvimento da Metodologia BSCEQ.....	57
4 APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA BSCEQ.....	61
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	75
5.1 Conclusão	75
5.2 Recomendações.	76
6 CONTRIBUIÇÃO PARA CONHECIMENTOS	77
7 RELEVÂNCIA DO RESULTADO	77
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS.....	
APÊNDICES.....	

1. INTRODUÇÃO

Para possibilitar melhor compreensão do conteúdo do trabalho, apresenta-se neste capítulo uma contextualização sobre gestão estratégica nos sistemas produtivos, Engenharia da Qualidade, Planejamento de Experimentos, Desenvolvimento de Produtos, Engenharia e Ciências dos Materiais, Tribologia e Seleção de Materiais.

Projetos de produtos e projetos de processos surgem de alguma necessidade ou problema do sistema produtivo ou por demanda de mercado. Esta necessidade ou problema se traduz em estudos e pesquisas sobre os materiais e suas propriedades, no sentido de atender à expectativa da organização no que tange tempo, custo, retrabalho e vantagem competitiva. É de notável importância por contribuir, responsabilmente, com a sociedade para evitar danos ao meio ambiente, independente do setor da economia que façam parte.

Neste sentido pode-se refletir como o desgaste de componentes e o desempenho de componentes impactam negativamente na eficiência e eficácia dos processos organizacionais.

Para Garvin (1987), desenvolvimento de um produto final ou componente de equipamento deve contemplar: desempenho que o produto possuirá em sua utilização - do ponto de vista das características operacionais primárias; confiabilidade - no que tange a ocorrência de falhas ou defeitos do produto em funcionamento; conformidade - na perspectiva de um produto que deve ser montado conforme especificações do projeto; durabilidade - que está relacionada com a vida útil de um produto e a função que o produto deverá desempenhar. Deve-se considerar, também, que todos os aspectos anteriormente citados, serão orientados pela qualidade percebida - que está associada à percepção de valor dentro do sistema produtivo.

Se a indústria consegue desenvolver um produto que seja capaz de gerar benefício para o processo ou para o cliente, certamente conseguirá contribuir com a sociedade, alcançar o lucro desejado e a participação de mercado (*Market Share*), sempre perseguida. É necessário, entretanto, que a especificação do produto seja definida pelo cliente e, só depois, pode-se prever como se dará o controle da qualidade, ou seja, decisões sobre qual é a meta de qualidade para o sistema produtivo e quais são os métodos que devem ser utilizados para o processo de desenvolvimento de determinado produto.

Para a geração da qualidade dos componentes do sistema (produto) deve-se planejar a qualidade: estrutura, propriedade e aplicação desses componentes, objetivando uma melhor performance do produto. *Pahl et al* (2005) afirmam que desenvolver e projetar são atividades de interesse da engenharia que abrangem quase todos os campos da atividade humana, podem aplicar leis e conhecimentos das ciências naturais, se apoiam, adicionalmente, no conhecimento prático

especializado. São em grande parte exercidas sob uma responsabilidade pessoal e criando pressupostos para a concretização de ideias da solução. Ainda para *Pahl et al* (2005), os projetos na engenharia seguem procedimentos metódicos para o desenvolvimento de produtos. As etapas se dividem em avaliação dos requisitos e necessidades, desenvolvimento ao longo do tempo utilizando a seguinte metodologia: engenharia de sistemas, análise de valores e métodos de projeto.

Para Juran e Gryna (1991), o desenvolvimento do produto possui como fase imprescindível, considerando o planejamento da qualidade no ciclo de vida do produto, o conceito bem definido do produto e sua viabilidade. Esta fase se refere à necessidade conhecida e prevista de um produto, estudada em detalhes, para que se possa determinar se é viável projetar e fabricar.

Considerando o fato de que para se começar um projeto deve-se avaliar a viabilidade do mesmo, no sentido de verificar se existe a necessidade do produto, cabe considerar que o desenvolvimento de um produto deve começar pelo conceito visualizado em todo o projeto que está em planejamento, contemplando, principalmente, a função do produto final. Uma análise aprofundada de todo o sistema proposto para o projeto deve ser realizada. Crane e Charles (1989) sugeriram que qualquer projeto deve ser caracterizado em termos de quatro atributos principais: função, aparência, processo de fabricação e custo.

Remetendo o projeto do produto para os principais aspectos que orientam a ciência e engenharia de materiais, deve-se analisar a relação estrutura x propriedade dos materiais. Mas, além desses, existem mais dois importantes aspectos que se traduzirão em um diferencial para o produto final, conforme a ciência e engenharia de materiais: o processamento e o desempenho. A figura 1.1 apresenta a inter-relação entre esses quatro aspectos norteadores da engenharia de materiais.



Figura 1.1 - Quatro componentes da Ciência e Engenharia de Materiais e seu inter-relacionamento linear
Fonte: Adaptado de Callister (2008)

A partir da figura 1.1, é possível refletir sobre a importância do fator qualidade, uma vez que o desempenho determinará o sucesso ou fracasso do produto final ou do processo, mas esse só será alcançado por meio dos indicadores de qualidade vindos da relação estrutura x propriedade das matérias-primas e componentes que irão compor o produto. Segundo Callister (2008) a engenharia de materiais consiste no projeto ou na engenharia da estrutura de um material para produzir um conjunto de propriedades predeterminadas. Callister (2008), afirma, ainda, que projeto de produto pode significar o desenvolvimento de novos materiais que possuam combinações únicas de suas propriedades e, alternativamente, o projeto pode envolver a seleção de um novo material que possua

melhor combinação de características para uma aplicação específica e, que a escolha de um material, não poderá ser realizada sem considerar os processos de fabricação exigidos, como por exemplo: conformação, solda, etc., os quais dependem das propriedades dos materiais.

Do ponto de vista da seleção de materiais o projeto dos componentes é determinante para o sucesso ou fracasso do produto, principalmente no que tange o desempenho. Desta forma, a seleção de materiais pode ser determinante para que se escolham materiais adequados que atendam às especificações previstas.

Segundo Dieter (2001), o que importa na seleção de materiais é uma ou várias combinações de propriedades. Consideram-se os tipos e classificações de materiais, exemplo: metais, cerâmicos, compósitos, materiais avançados e materiais inteligentes. É importante analisar, que a performance de um material não depende somente de uma propriedade, pois é a combinação de propriedades que determina o sucesso na seleção de materiais.

Para Ashby (1992) deve-se estabelecer uma interação entre função, material, processo e forma dos componentes e/ou matérias-primas dentro da perspectiva do projeto, conforme a figura 1.2.

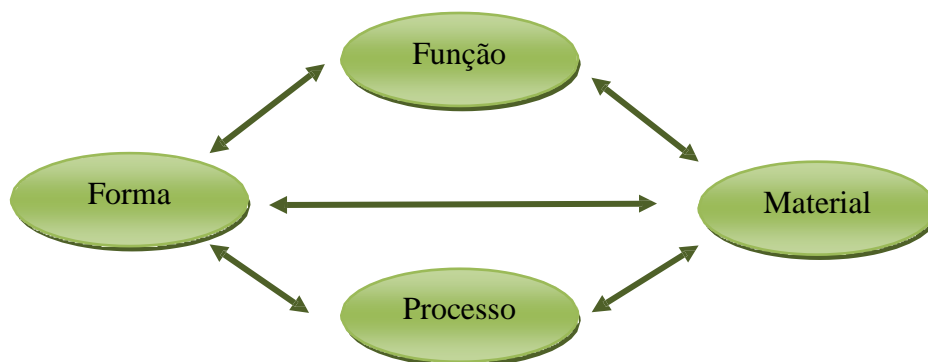


Figura 1.2 – Interação entre função, material, processo e forma
Fonte: Adaptado de Ashby (1992)

A partir da abordagem apresentada na figura 1.2, é possível alcançar outra visão pautada no fato que a combinação de propriedades e a interação entre função, material, processo e forma.

A seleção de materiais pode relacionar-se com a engenharia da qualidade considerando que o conceito da mesma é: "um conjunto de atividades operacionais, de gerenciamento e de engenharia que uma empresa utiliza para garantir que as características da qualidade de um produto estejam nos níveis nominais exigidos" (MONTGOMERY, 2004).

O conceito de engenharia da qualidade nos remete também a teoria de Juran e Gryna (1991): "Qualidade é adequação ao uso". O significado dessa teoria deve ser o desempenho que o produto oferece cujas características proporcionam a satisfação do público-alvo. Por outro lado, na ausência de defeitos que geram grande insatisfação. Assim, duas vertentes são destacadas: 1) as

características do produto devem estar de acordo com as necessidades do cliente; 2) o produto final não pode apresentar falhas ou defeitos em sua função, uma vez que a ocorrência dessas poderá gerar insatisfação do cliente e aumento de custo operacional.

Percebe-se uma relação com a seleção correta dos materiais e, por conseguinte, a função qualidade, no que tange a estrutura e a propriedade dos componentes. Portanto, ao se abordar função qualidade é necessário adentrar no tema desgaste de materiais de engenharia.

No Brasil, a discussão acadêmica e empresarial sobre o tema desgaste de materiais de engenharia é recente. Há menos de vinte anos, começou a ser considerado como gerador de perdas de produtividade e aumento de custo. Enquanto o país era afetado pela inflação alta, considerava-se a depreciação na visão contábil, sem que se analisasse o ônus real. Como um equipamento pode ter a vida útil abreviada em função do desgaste precoce de componentes, pode haver maior custo de manutenção, perda de produção, perda de energia, perda da qualidade de produtos e serviços e causar fadiga humana. Neste sentido, torna-se necessário analisar como é desenvolvida a seleção dos materiais que compõem o produto ou o revestem, em relação à aplicação, para que haja aumento de vida útil de componentes, ferramentais e equipamentos.

A sondagem mineral, objeto deste estudo, é a prospecção do solo por meio de equipamentos que fazem a extração de amostras e um dos principais componentes utilizados é a coroa, produzida com a combinação de pós-metálicos, como W, Fe, Cu, Co. Na sondagem mineral, as perfuratrizes possuem coroas que são introduzidas no solo. Ferreira (2010) verificou a necessidade de se adotarem metodologias que permitam produzir coroas apropriadas às condições litológicas brasileiras, com base na análise do desempenho das coroas comerciais em operação na sondagem geológica praticada atualmente.

Os processos de sondagem mineral demonstram o grande desafio que as empresas desse ramo estão submetidas, por necessitarem de uma análise criteriosa do desempenho de seus componentes e equipamentos, melhoria do processo e dos recursos físicos, organizacionais e humanos. A prospecção mecânica é uma das técnicas utilizadas na sondagem geológica.

O centro de investigação em Geo-ambiente e Recursos (2011) define que o nome prospecção mecânica explica-se, pelo fato de na sua execução serem utilizados meios mecânicos. Nesta nomenclatura se inclui a realização de sondagens, poços, galerias, valas e trincheiras. Cada uma destas operações de prospecção possuem características próprias, que definem a sua melhor aplicabilidade em dado problema. Nas sondagens de rotação, com recuperação contínua de amostra, a ferramenta de furação é uma coroa (Figura 1.3), composta por materiais rígidos como, por exemplo, tungstênio ou diamantes que variam, conforme os tipos e finalidade, a densidade de diamantes impregnados e a sua granulometria de acordo com o tipo de terreno a furar.

Para rochas menos duras, como calcários, ou para solos duros, consegue-se um bom avanço com uma coroa de prismas de tungstênio. Já para rochas duras como quartzitos e até granitos, mesmo com coroas diamantadas, o desgaste é muito grande.

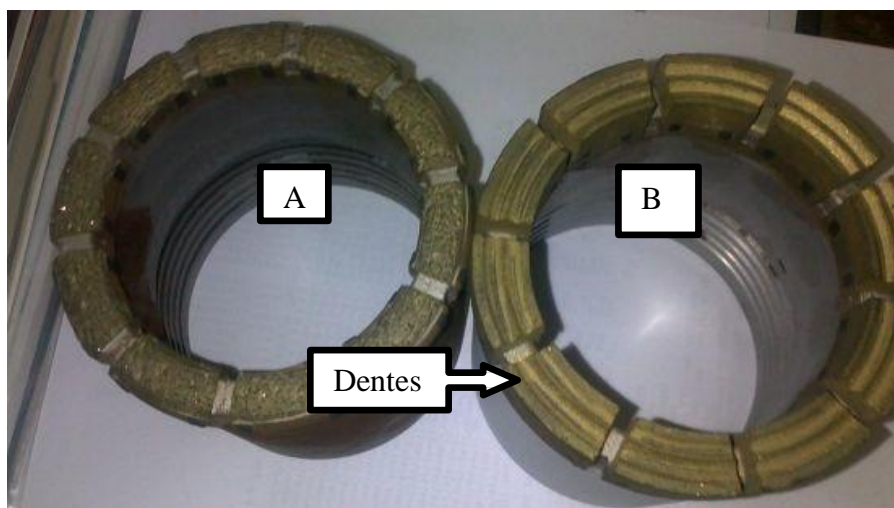


Figura 1.3 – Coroa A: após utilização no processo de sondagem; Coroa B: antes de ser submetida ao processo de sondagem

Segundo Ferreira (2010), as coroas de perfuração apresentam uma gama variada de composições e formas geométricas (Figura 1.3), cada qual se adaptando melhor a determinadas condições litológicas e de operação. O desempenho e a durabilidade das coroas dependem, segundo o autor, não apenas da composição, mas, da geometria, da microestrutura, do tamanho e volume de poros, da distribuição de tamanho de partículas abrasiva (diamantes), da forma de impregnação e fração de partículas abrasivas pulverizadas, da resistência ao desgaste apresentado pela matriz e da interação das diferentes superfícies envolvidas na formação da coroa. Todos esses fatores combinados com as condições litológicas e de operação determinam a eficiência e eficácia da ferramenta.

Ainda para Ferreira (2010), a partir da análise do desempenho das coroas comerciais utilizadas no ano de 2010, nas operações de sondagem geológica, verificou-se a necessidade de se adotarem metodologias que permitam produzir coroas apropriadas às condições litológicas brasileiras. Desta forma possibilita-se obter desempenho operacional superior ao apresentado pelas coroas comerciais importadas, bem como otimizar as operações de sondagem geológica, fornecendo, para sua execução, coroas com propriedades mecânicas adequadas a cada tipo de rocha sondada. A figura 1.4 apresenta o equipamento utilizado na operação de sondagem na área do estudo e a figura 1.5 apresenta a haste que faz o avanço no processo de sondagem.



Figura 1.4 – Equipamento de Sondagem (Perfuratriz)



Figura 1.5 – Haste de avanço da Perfuratriz

São fabricadas normalmente várias peças contendo materiais rígidos, como tungstênio ou diamante distribuídos na matriz metálica. A figura 1.6 apresenta o estoque de coroas produzidas com diferentes combinações de materiais para atender ao processo de sondagem. Estas coroas são identificadas por códigos.

Com base no contexto apresentado cabe refletir sobre uma metodologia que oriente a organização para uma medida de desempenho, que possa adequar o processo de sondagem, do ponto de vista do desgaste das coroas de perfuração.



1.6 – Coroas fabricadas para processo de sondagem

Uma hipótese é o desenvolvimento de uma peça que atenda aos vários tipos de solo. O grande desafio é que a metodologia possa se traduzir em aumento do valor agregado para o produto final e redução de custos para os processos de fabricação e de sondagem.

Portanto, a questão problema pertinente ao estudo é: **Como a Gestão, Engenharia da Qualidade, Engenharia de Materiais e Tribologia pode contribuir para adequar o desempenho das matrizes metálicas usadas para produção de coroas empregadas em perfuração mineral?**

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Desenvolver metodologia *Balanced Scorecard* de engenharia da qualidade para análise e adequação do desempenho das coroas de perfuração em processos de sondagem mineral por meio da melhor combinação dos materiais constitutivos das coroas.

2.2 ESPECÍFICOS

- Realizar revisão da literatura sobre Ciência e Engenharia de Materiais, Seleção de Materiais, Projeto e Desenvolvimento de Produtos, Tribologia (Desgaste abrasivo), Engenharia da Qualidade, DOE, Planejamento de Experimentos, Modelo BSC desenvolvido pela *Harvard Business School* para Gestão Estratégica;
- Realizar pesquisa qualitativa para analisar a viabilidade da aplicação da metodologia BSCEQ para adequação de desempenho operacional;
- Desenvolver metodologia BSCEQ para adequação de desempenho operacional selecionando e combinando materiais;
- Validar a metodologia na indústria de sondagem:
 - Definir as variáveis controláveis;
 - Analisar variáveis controláveis no software Minitab, na técnica DOE especificamente análise fatorial 2^k ;
 - Identificar a melhor combinação de variáveis;
 - Desenvolver protótipo;
 - Realizar ensaio de desgaste;
 - Realizar ensaio de dureza Vickers;
 - Fazer análise com microscópio óptico;
 - Fazer a análise comparativa do desgaste do protótipo em relação ao desgaste das coroas já utilizadas em campo.

2.3 HIPÓTESE

As empresas planejam novos produtos e novos processos e os desenvolvem utilizando a perspectiva financeira.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo realiza-se uma fundamentação teórica para embasar a pesquisa. Os temas que serão apresentados são: Ciência dos Materiais; Engenharia de materiais; Seleção de Materiais para projetos e desenvolvimento de produtos; Tribologia; Desgaste abrasivo e Desgaste de ligas; Engenharia da Qualidade; *Balanced Scorecard*.

3.1 CIÊNCIA DOS MATERIAIS

A Ciência dos materiais tem sido a solução para muitas questões relacionadas à saúde, melhoria de processos e produtos. Segundo Callister (1991), a disciplina Ciência dos Materiais envolve investigação das correlações existentes entre estrutura e propriedades de materiais. Pesquisas como a de Parente e Pinheiro (2008) que apresenta análise sobre a função, estrutura e propriedades de materiais poliméricos para aplicação na construção civil, demonstra a necessidade de combinar estrutura, propriedade e função. Foi possível com a pesquisa contribuir com o meio ambiente por meio da possibilidade de retorno dos plásticos, que seriam descartados, para processo produtivo gerando um novo produto. Para os autores ao se introduzir um material estrutural alternativo como o plástico reciclado, desmistifica-se para a comunidade científica e para a sociedade o seu potencial e as suas vantagens que, dentre as várias, podem-se citar: o forte apelo ecológico, o baixo peso específico, a indiferença à deterioração por decomposição e por ataque de microorganismos, a alta resistência à corrosão, o fácil processamento e o reduzido custo de manutenção. A abundância de material plástico reciclado a baixo custo é uma alternativa a ser explorada em estruturas, e não deve mais ser desconsiderada. A pesquisa sobre o tema no Brasil é incipiente e a escassez de uma bibliografia nacional evidencia esse atraso. No entanto, em países como Estados Unidos, Japão e Canadá, os avanços na área são notáveis, tornando possível a construção de pontes, passarelas, deques, ferrovias e marinas com elementos estruturais de plástico, reciclado ou não. Os materiais plásticos possuem uma baixa rigidez quando comparados com os materiais de construção tradicionais, como a madeira, o aço e o concreto. A adição de fibras aumenta substancialmente o módulo de elasticidade. Além disso, a adição de fibras pode ser empregada também para atenuar os fenômenos dependentes do tempo, como a fluência e a relaxação. A baixa rigidez também pode ser compensada com o emprego de armaduras protendidas ou com o desenvolvimento de geometrias ótimas, aproveitando a alta relação resistência/densidade destes materiais. Uma das principais vantagens dos plásticos, quando comparados aos materiais tradicionais, é a sua possibilidade de ser moldado nas mais diversas formas, não exigindo soldas ou outros processos de conformação, para a obtenção do produto final. Enquanto um perfil metálico possui diversas etapas para a sua manufatura, um perfil de material plástico pode ser confeccionado numa única etapa. A relação resistência/densidade para os materiais plásticos, principalmente os

compósitos poliméricos, é superior à dos materiais tradicionais. Este peso reduzido permite um melhor aproveitamento da capacidade estrutural do elemento e a adoção de um sistema estrutural mais eficiente. As características de um plástico podem ser desenvolvidas a partir das necessidades de projeto, sendo esta possibilidade uma diferença básica perante os materiais tradicionais, que normalmente requerem que os projetos sejam adequados às propriedades mecânicas disponíveis comercialmente. Os termoplásticos possuem o comportamento dependente da temperatura e da taxa de deformação. A temperatura pode ser considerada um fator limitante. Nos materiais viscoelásticos, à medida que se aumenta a temperatura, diminui o seu módulo de elasticidade. Em se tratando de materiais estruturais, a perda de rigidez torna-se crítica, pois é indesejável o surgimento de deformações excessivas causando desconforto aos usuários e até mesmo o colapso da estrutura. Antes de se projetar uma estrutura de plástico, deve-se observar com que intensidade os elementos estruturais estarão expostos ao calor, fazendo-se o dimensionamento para a pior condição possível, ou seja, a maior temperatura, levando em consideração a inflamabilidade dos plásticos. Para que o material plástico possa ser utilizado com segurança em edificações, devem ser utilizadas normas que prevejam o cuidado com a inflamabilidade dessas estruturas e, até mesmo, o emprego de instalações especiais de combate ao incêndio. A adição de produtos químicos retardantes de chama é uma forma de se atenuar o perigo de incêndio em estruturas com elementos de material plástico. Outra solução é a utilização de uma camada protetora, de material isolante. Portanto, a pesquisa desses autores é um exemplo de como a ciência dos materiais agrega valor para a sociedade e para o meio ambiente.

3.2 ENGENHARIA DE MATERIAIS

Segundo Callister (1991) se caracteriza por analisar a correlação entre estrutura e propriedade dos materiais, o projeto ou a engenharia da estrutura de um material para produzir um conjunto predeterminado de propriedades.

O projeto ou a engenharia da estrutura de um material para produzir um conjunto predeterminado de propriedades, se caracteriza pela análise da correlação entre estrutura e propriedade dos materiais (CALLISTER, 1991).

Com base na definição de Callister (1991), é possível inferir sobre a importância da Engenharia de Materiais para as indústrias dos diversos setores da economia.

Ainda Callister (1991), define as propriedades em seis diferentes categorias: mecânica, elétrica, térmica, magnética, óptica e deteriorativa, que enquanto usado em serviço todo material é submetido ou exposto a algum tipo de estímulo e, assim, é capaz de apresentar diferentes respostas. Sendo que para cada uma destas propriedades o material apresentará algum tipo de resposta. A

propriedade mecânica refere-se ao comportamento de deformação a uma carga ou força aplicada. A propriedade elétrica refere-se à condutividade elétrica e constante dielétrica.

Do ponto de vista térmico aborda-se a capacidade de resistir ao calor e condutividade térmica. A propriedade magnética está relacionada à resposta de um material submetido a um campo magnético. Para propriedades ópticas, o estímulo é eletromagnético ou radiação de luz, índice de refração e refletividade. Finalmente, características deteriorativas indicam a reatividade química de materiais. O autor afirma:

"Quanto maior for a familiaridade de um engenheiro ou cientista com as várias características e correlações estrutura-propriedade, bem como técnicas de processamento de materiais, tanto mais proficiente e confiável ele ou ela será para fazer escolhas judiciosas de materiais baseadas nestes critérios"(CALLISTER,1991).

Na visão de Akeland (1998) a relação estrutura, propriedade e processamento determinam a função do material e o ciclo de vida esperado para o produto. Ele afirma que uma mudança, por exemplo, na estrutura mudará a propriedade e o processamento.

A importância da engenharia de materiais para a indústria fica evidente ao se analisar, por exemplo, o resultado de pesquisas como a de Silva e Furtado (2009), que investigaram e caracterizaram as relações entre métodos de preparação de pós e o desenvolvimento microestrutural destes materiais cerâmicos cromíticos dopados com metais alcalinos terrosos. Cromitas de lantânio dopadas com cálcio, estrôncio e magnésio foram produzidas pelos processos de combustão auto-sustentada (utilizando ureia como combustível) e do estado sólido(método cerâmico convencional de mistura de óxidos). A caracterização microestrutural foi feita pela técnica de microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de raios X por dispersão de energia (MEV-EDS), difração de raios X e técnicas de análise térmica. Os resultados obtidos corroboram as observações da literatura acerca da dificuldade de obtenção de cerâmicas à base de LaCrO_3 com elevado grau de densificação e evidenciam a grande influência da natureza dos dopantes sobre o mecanismo de sinterização e as características microestruturais e elétricas das cerâmicas produzidas. Adicionalmente, os resultados mostram que os pós quimicamente sintetizados, apresentando melhor cristalinidade e tamanhos de partículas submicrométricos, proporcionaram a produção de cerâmicas à base de cromitas de lantânio mais densas e com distribuição de tamanho de grão mais homogênea que aqueles pós-produzidos pelo método cerâmico convencional.

A engenharia de materiais, portanto, gera inúmeras oportunidades de se combinar estrutura e propriedades de materiais para novas soluções que possam se traduzir em melhoria de produtos e processos além da redução de impactos ao meio ambiente e da qualidade de vida da humanidade.

3.3 SELEÇÃO DE MATERIAS EM PROJETOS E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Segundo Baxter (1995), a segmentação da análise dos artefatos se divide em três funções básicas: uma função prática, que trata do uso do objeto – incluindo aspectos ergonômicos, de fabricação, custos, mecanismos de funcionamento, legibilidade, entre outros. Possui a função estética que trata da maneira como o objeto é percebido pelos sentidos humanos, incluindo as proporções de forma, aplicabilidade de cores, texturas, odores, sons e até sabores. Possui também uma função simbólica, que trata do cunho psicológico do cliente do ponto de vista do repertório de significados dos usuários, a promoção de emoções e a percepção de valor.

Para Ashby (2007), a Engenharia de Projetos é fortemente dependente do processamento de materiais, levando em conta como eles são conformados, unidos e acabados. A importância do desempenho do material não está ligada somente às condições de funcionamento, mas também à sua forma de processamento, aos aspectos econômicos e mais do que nunca, atualmente, aos impactos ambientais que podem causar.

Hoje em dia encontra-se uma infinidade de materiais disponíveis no mercado, cada qual com características específicas, vantagens e desvantagens. Os materiais estão divididos em seis grandes famílias: metais, cerâmicos, vidros, polímeros, elastômeros e híbridos que apresentam propriedades de dois ou mais materiais. Neste sentido também é necessário considerar que o projeto é limitado por algumas propriedades dos materiais como: propriedades físicas (como densidade), propriedades mecânicas (como módulo e elasticidade) e propriedades funcionais (englobando propriedade térmica, elétrica, magnética e comportamento óptico).

Os objetivos de se fazer uma seleção de materiais tem como foco algumas características ou requisitos específicos. Tais como:

- Redução de custos
- Novas condições de serviço
- Redução de peso
- Novos materiais

A escolha por determinado tipo de material envolve algumas decisões que são da maior importância para qualquer tipo de projeto. Mesmo que a opção seja pelo aço, geram mais escolhas a serem feitas, como por exemplo: tipo de aço ou liga, forjado, fundido ou laminado, que tipo de tratamento térmico utilizar, dureza, processos de fabricação e se a superfície do material será tratada ou não.

Com o propósito de buscar soluções o engenheiro deve obter um banco de dados com informações que atendam os requisitos do seu projeto, e de um modelo que o ajude a definir qual material é mais indicado tendo como base seu desempenho para determinada aplicação.

Para Askeland (1998, p.15) quando se define um material para aplicação determinada, o material deverá adquirir propriedades mecânicas, físicas e de processamento que atenda ao projeto e, principalmente, se traduzir em solução econômica e de reciclagem.

Segundo Ferrante (2000), pode-se utilizar o Índice de Mérito (IM), como ferramenta que se caracteriza por ser uma fórmula algébrica que mostra a relação entre duas características ou propriedades. Apresenta-se de forma mais simples como uma fração, onde se coloca no numerador a propriedade que se deseja maximizar e no denominador a que se deseja minimizar. Assim o material mais adequado é aquele que apresenta a fração de maior valor.

Para se concluir o Índice de Mérito alguns estágios devem ser executados:

- Estabelecimento de uma função do produto ou componente: pode ser feita com uma simples inspeção do objeto;
- Estabelecimento do objetivo principal: mostra o requisito imposto na etapa de seleção: pode ser expresso por uma equação;
- Identificação da restrição: expressa por uma equação cuja forma é determinada pela função do produto que se deseja obter.

Para conhecer o comportamento de todos os grupos de materiais leva-se em consideração uma propriedade ou a combinação de propriedades em mapa ou Diagrama de Seleção de Propriedades, considerando este um espaço bi-dimensional que permite uma seleção do material mais eficiente e de maior abrangência.

No projeto outros requisitos serão observados mais tarde, o processo de fabricação e o custo dos materiais que possuem grande importância, o que torna a escolha mais refinada facilitando assim a opção por um único material.

Outros requisitos como, o processo de fabricação e o custo dos materiais que possuem grande importância e o que torna a escolha mais refinada facilitando assim a opção por um único material, serão observados mais tarde, neste projeto.

Na engenharia, para a maioria das situações, o custo do material é o aspecto preponderante, o que torna o critério econômico mais importante na escolha do material. Entretanto, pode causar uma alteração considerável no esquema a ser montado para a classificação dos materiais.

A decisão de qual material utilizar será facilitada fazendo-se uma organização das informações com base nos critérios utilizados, que inclui o índice de desempenho, custos, outras considerações importantes de cada material "candidato".

O fato dos procedimentos de seleção abrangerem muitos requisitos e relações mútuas inversas entre as propriedades dos materiais geram situações de conflito e as maiores dificuldades na determinação da seleção do material são representadas pelo custo e fatores de proporcionalidade ou pesos.

Alguns critérios de seleção são apresentados abaixo:

- Critérios mercadológicos: escala de produção, custo, estética, durabilidade, etc.
- Critérios técnicos: as condições de operação do produto são afetadas pelas propriedades mecânicas e físicas do material escolhido;
- Critérios industriais e corporativos: a disponibilidade de matérias-primas e insumos, exigência de reciclabilidade e normalização.

Na visão de Botelho (2003), na trajetória do desenvolvimento tecnológico, a análise e a seleção de materiais têm contribuído para indicar a direção das tendências tecnológicas e econômicas nos projetos de produto.

O estudo de Silva (2005) apresenta a importância da Seleção dos Materiais no Design de produtos como um fator tecnológico para a inovação e minimização de falhas de projetos. O estudo, inicialmente, determinou os requisitos do projeto a partir da expectativa do consumidor. Variáveis objetivas e subjetivas do projeto foram analisadas e em função do grande número de diferentes materiais existentes a pesquisa foi altamente complexa. Deste modo, a investigação realizada, sobre os diferentes meios de interpretação dos materiais, direcionou a pesquisa à abordagem do estudo de caso de uma Materioteca, referenciando um método de seleção de materiais, onde a inclusão das variáveis subjetivas no processo vem determinar vantagens, estimulando a percepção tátil e visual do projetista. A grande participação conjunta e simultânea do Design e da Engenharia foi determinante para o sucesso - buscando atrelar aspectos estéticos e subjetivos às viabilidades técnicas e produtivas. A avaliação da forma, da textura, da funcionalidade, da durabilidade, da sustentabilidade, do conceito, entre outros, apontam para a obtenção de novos requisitos com elevado grau de prioridade. Assim, pode-se dizer que o reconhecimento dos valores subjetivos (percepção) dos materiais, uma vez adaptados em projetos, agregam maior valor ao produto resultante.

3.3 TRIBOLOGIA - CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS

Define-se Tribologia como ciência e tecnologia que estuda a interação entre superfícies animadas de movimento relativo. Em função da complexidade e natureza multidisciplinar que possui, além de sua característica sistêmica, geralmente é estudada de forma empírica (EYRE *apud* NUNES, 2008).

Tribologia é denominada ciência e tecnologia que estuda a interação existente entre superfícies em movimento e problemas relacionados ao desgaste, atrito, adesão e lubrificação. Daí a importância em conhecer os fenômenos que podem surgir nessas interações (BRISCOE; TABOR, *apud* NUNES, 2008).

A tabela 3.4.1 apresenta as principais características associadas a três conceitos de fenômenos relevantes em tribologia: Atrito, Desgaste e Adesão.

Tabela 3.4.1 – Fenômenos tribológicos

FENÔMENOS	CARACTERÍSTICAS
Atrito	Efeito que provém da existência de forças tangenciais que surgem entre duas superfícies sólidas em contato quando permanecem unidas pela existência de seus esforços normais.
Desgaste	Caracteriza-se pela perda de material da superfície de um corpo como consequência da interação com outro corpo.
Adesão	Capacidade para gerar forças normais entre duas superfícies depois de terem sido mantidas juntas.

Fonte: Adaptado de Nunes (2008).

Considerando os fenômenos tribológicos existentes, foi definido como um dos temas do estudo o desgaste abrasivo e de ligas.

3.4.1 DESGASTE ABRASIVO E DESGASTE DE LIGAS

Caracteriza-se como desgaste, a perda de material da superfície de um corpo como consequência da interação com outro corpo. As condições para que haja desgaste exigem, ainda, movimento relativo entre as superfícies em contato e um abrasivo (NUNES, 2008).

O desgaste de componentes é um grande desafio para as empresas do setor minerometalúrgico, no qual a maior incidência é de desgaste abrasivo. Para Hutchings *apud* Nunes (2008), define-se desgaste como a deterioração de uma superfície sólida que envolve perda

progressiva de material, promovida em consequência do movimento relativo entre as superfícies somado a ação de partículas abrasivas duras ou, às vezes, de protuberâncias forçadas contra a superfície. Segundo Zum Gahr (1987), o desgaste abrasivo é definido como deslocamento de material causado por partículas duras presentes entre duas superfícies em movimento relativo. Estas partículas podem se encontrar soltas na superfície ou incrustadas em uma delas, gerando o desgaste.

Pintaúde (2002), afirma que a seleção de materiais resistentes ao desgaste abrasivo resume-se em maximizar a dureza sem prejuízo da tenacidade à fratura e que, as propostas de Kruschov (1974) levaram pesquisadores, como Zum Gahr (1987), a definir como abrasivo "duro" aquele que possui dureza 20% maior que a dureza da superfície desgastada ou dureza 50% maior que a dureza inicial que antecede o processo de desgaste.

De acordo com Gates (1998), o desgaste abrasivo deve ser classificado com o objetivo de agrupar situações práticas que tenham características comuns e que possam ser tratadas de maneira similar. Os aspectos característicos podem ser divididos em três grupos:

- Situação (descrição das condições macroscópicas que produzem o desgaste, como geometria do contato e das partículas abrasivas, tensões e velocidade de deslizamento);
- Mecanismos (processos microscópicos pelos quais os fragmentos de desgaste são gerados);
- Manifestações (fenômenos observáveis, como taxas de desgaste, transições de taxas de desgaste e características da superfície desgastada e dos fragmentos gerados).

Para Hutchings (1992), basicamente existem três modos distintos de abrasão por deformação plástica: microsulcamento, microcorte e microtrincamento.

No microsulcamento ocorre deformação plástica da superfície e deslocamento de parte do material para as laterais do sulco formado. Já o microcorte é caracterizado pela remoção do corte do material e consequente formação de fragmento de corte. O ângulo de corte é fator determinante do tipo de mecanismo. No desgaste abrasivo por fratura frágil, pode ocorrer o microtrincamento.

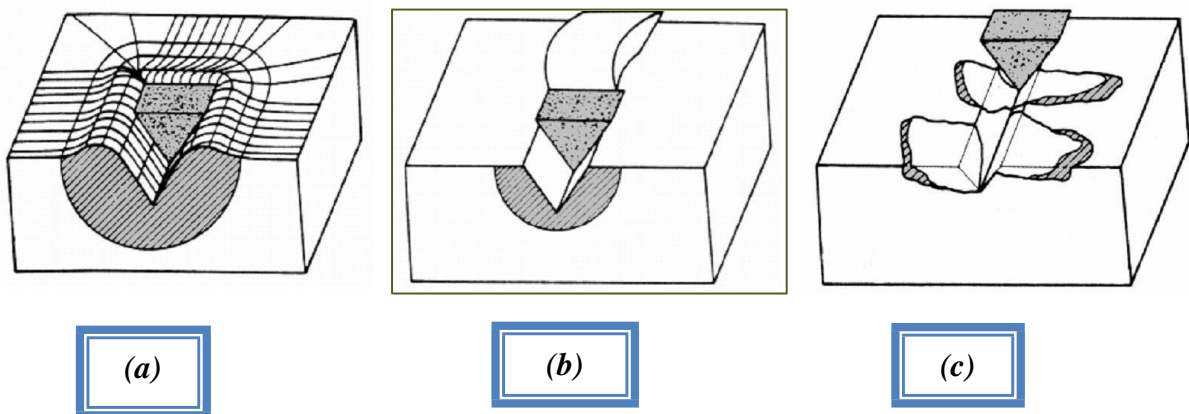


Figura 3.4.1.1 – Mecanismos de remoção de material no desgaste abrasivo (a) Microsulcamento (b) Microcorte e (c) Microtrincamento

Fonte: Adaptado de ZUM GAHR, 1987

Gates (1998) definiu os principais elementos em uma situação de desgaste:

- Primeiro corpo: corpo principal no qual há maior preocupação com o desgaste;
- Segundo corpo: refere-se a qualquer corpo que possui importância secundária, considerando o movimento relativo entre este e o primeiro corpo e contato direto ou indireto de forma que haja transmissão de forças.
- Terceiro corpo: chamados de elementos interfaciais e definidos como quaisquer materiais e outras condições especiais que possam estar presentes na interface dos corpos, como por exemplo, os lubrificantes, as partículas sólidas e os produtos de reações químicas.

Grande parte das pesquisas relativas ao desgaste é desenvolvida por ensaios laboratoriais utilizando dentre outros equipamentos, aquele em que uma esfera gira apoiada sobre a superfície de interesse.

Para todos os pesquisadores na área de tribologia, o desgaste abrasivo de um material com coeficiente de desgaste (K) pode ser calculado usando-se a equação de Archard. Trata-se de uma equação que representa o fenômeno abrasivo geral.

$$Q = K \frac{W}{H} \quad (3.4.1.1)$$

Onde:

Q é a quantidade de material "removido" em mm³/ unidade de deslizamento.

W é a força normal em Newton (N) aplicada à superfície de menor dureza.

H é a dureza *Vickers* da superfície mais macia.

K é o coeficiente de desgaste (adimensional).

É importante destacar que, em aplicações de engenharia, a razão $\frac{K}{H}$ é muito utilizada. O símbolo k é chamado de coeficiente de desgaste específico, e indica o volume do material removido pela distância de deslizamento (m) e a carga no contato a normal (N). Para cálculo do volume teórico de perda de material em ensaio com esfera rotativa utiliza-se, dentre outras, a equação 2 proposta por Hutchings:

$$V(R, b) = \frac{\pi b^4}{64R} \quad (3.4.1.2)$$

Onde:

R é o raio da esfera

b é o raio da calota

Para Cruz (2006), a equação 3, desenvolvida por Cassino *et al*(2006) é pertinente para ensaios em amostras relativos a cálculo do volume de material removido.

$$V(R, r) = \frac{2}{3}\pi R^3 - \frac{2}{3}\pi R^2 \cdot \sqrt{R^2 - r^2} - \frac{1}{3}\pi r^2 \cdot \sqrt{R^2 - r^2} \quad (3.4.1.3)$$

Onde:

R e r são os raios da esfera e da projeção da calota, respectivamente;

V é o volume teórico da calota impressa na matriz.

A equação 3 permite calcular o volume teórico da calota impressa no material. De posse desse dado é possível acompanhar a evolução temporal do desgaste realizando ensaios com duração distinta.

3.4.2 ENSAIOS DE DESGASTE DE LIGAS

Após estudos em seis amostras de ligas, Narasimhan e Larson *apud* Filho (2006), concluíram que os desgaste ocorridos são divididos em quatro tipos: desgaste adesivo, indentação, desgaste abrasivo e *guttering* (ação conjunta de erosão e oxidação). Todos relacionados a exposições ambientais ou aplicações das ligas.

Segundo a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992) os ensaios de desgaste abrasivo devem conter: Elemento abrasivo; Pista de aço giratória; Depósito de elemento abrasivo; Medição de carga; Medição de pressão; Deve ser contabilizado o tempo ou quantidade de giros (500 e 100 metros percorridos), utiliza-se relógio comparador;

Estudo realizado por Yasmin *et al* (2004), discutiu o desgaste de ligas em tratamento térmico e fundição. Utilizou-se amostra de alumínio. O experimento foi realizado em máquina, conforme figura 3.4.2 e os aspectos principais considerados foram: carga, pino, disco e sentido de rotação.

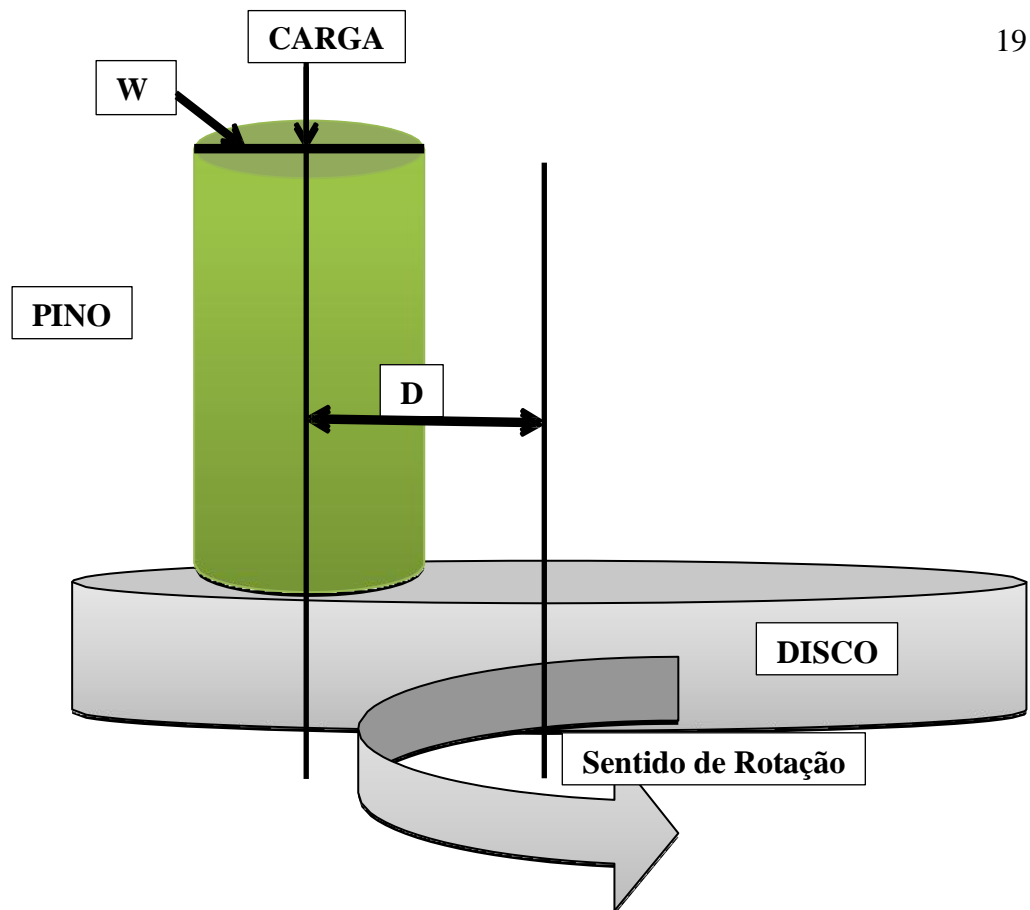


Figura 3.4.2 – Desenho esquemático de ensaio de desgaste de pino contra disco.
Fonte: Adaptado de Yasmin *et al*(2004).

A composição química da amostra foi considerada de grande importância no estudo. Uma importante consideração está relacionada ao percentual de sílica no pistão que é o terceiro corpo influente no desgaste abrasivo, e, nesse caso, é o maior percentual entre todos os elementos, conforme tabela 3.4.2.

Tabela 3.4.2– Composição química do pistão usado no ensaio de pino sobre disco

MATERIAIS	Quantidade (%)
Si	12,2
Mg	0,14
Cu	2.00
Fe	0,8
Ni	0,4

Fonte: Adaptado de Yasmin *et al* (2004)

Uma das considerações do estudo realizado por Yasmin *et al* (2004) é a utilização de ligas fundidas e tratadas termicamente e a conclusão foi que o desgaste nas amostras foi mais expressivo quando aumentou a velocidade de rotação. A peça fundida apresentou uma taxa de desgaste

específico mais significativo que a peça termicamente tratada em relação à velocidade, conforme figura 3.4.2.1. Entretanto, com o aumento do peso de entrada, a peça fundida tende a reduzir o desgaste e a peça tratada termicamente mantém desgaste baixo com pequena variabilidade. Quando o desgaste se correlaciona com a distância de deslizamento, as peças tanto fundida quanto com tratamento térmico apresentam uma redução no desgaste, de acordo com as figura 3.4.3.1, 3.4.3.2 e 3.4.3.3.

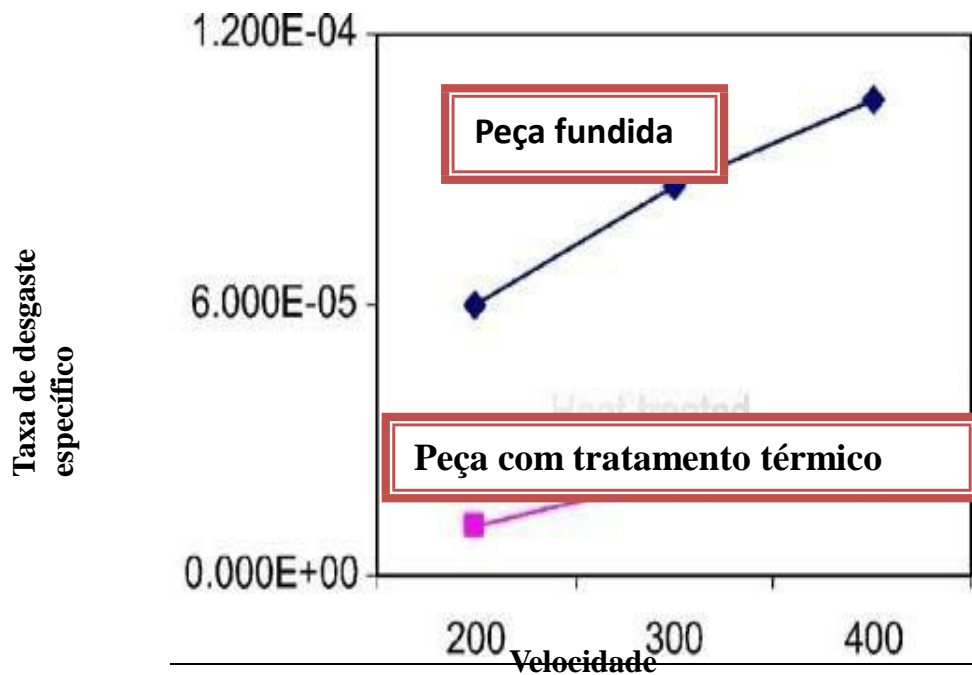


Figura 3.4.2.1 – Taxa de Desgaste Específico em relação à velocidade
Fonte: Yasmin *et al* (2004)

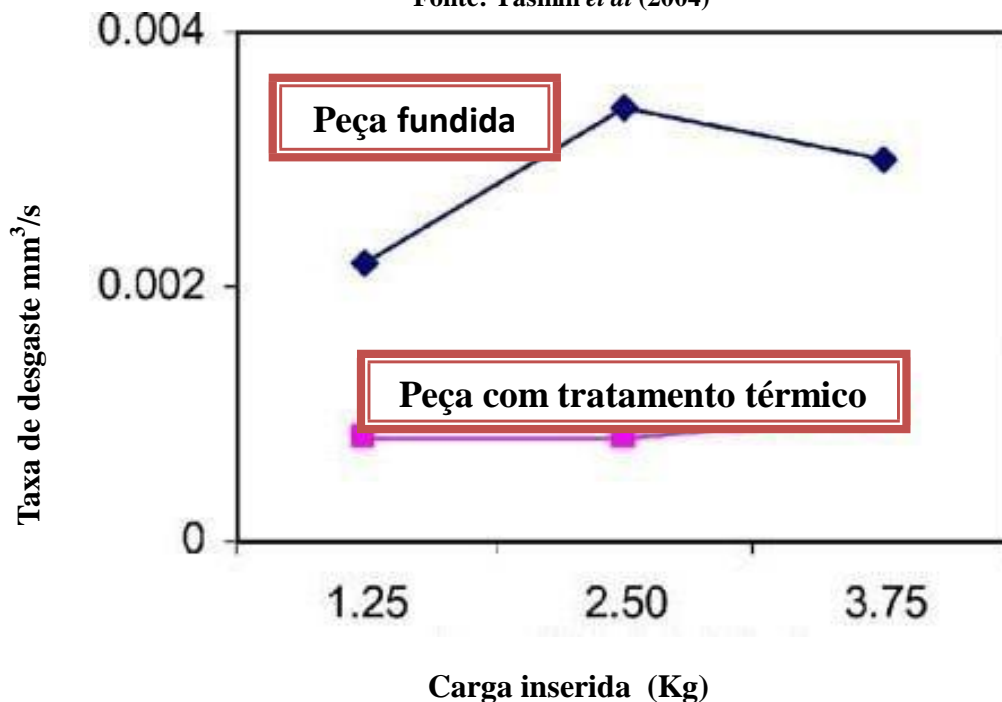


Figura 3.4.2.2 – Taxa de Desgaste em relação à carga
Fonte: Yasmin *et al* (2004)

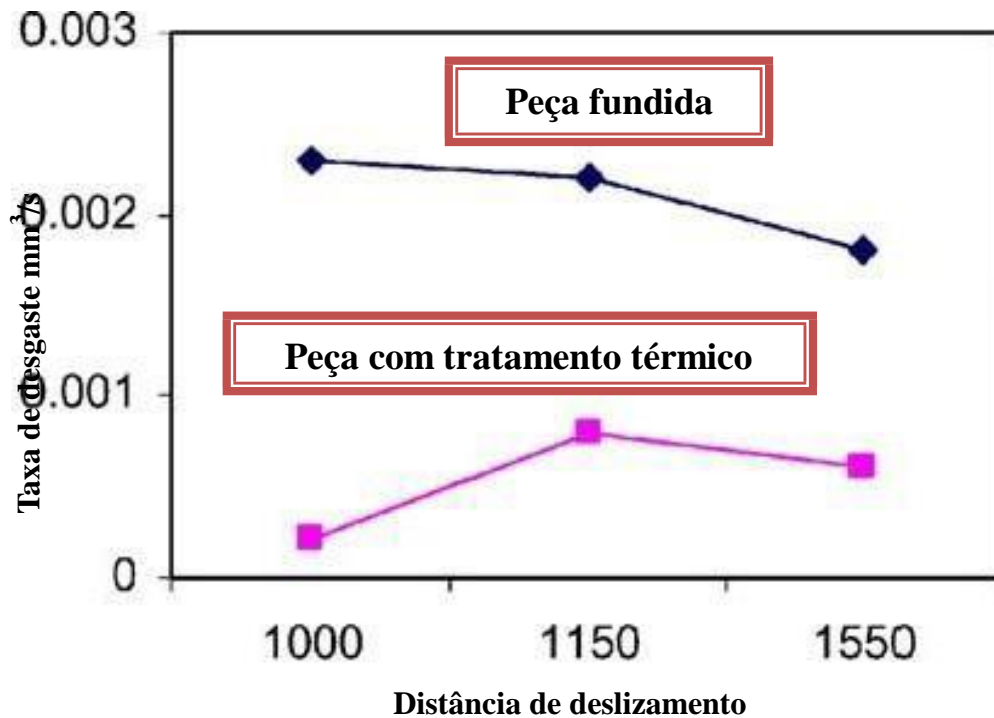


Figura 3.4.2.3– Taxa de Desgaste em relação à distância de deslizamento
Fonte: Yasmin *et al* (2004)

Este estudo contribui para uma reflexão sobre os diferentes comportamentos de materiais fundidos e termicamente tratados, no que tange as taxas de desgaste quando submetidos em relação à velocidade, carga e distância de deslizamento. Revela a necessidade de se adequar carga, velocidade e distância de deslizamento de acordo com a forma em que o componente será preparado.

Rao *et al* (2003), em estudo realizado, analisou o efeito dos tamanhos de grãos para as propriedades de desgaste. Diferentes refinadores foram utilizados nas amostras: o Al-7Si foi submetido a diferentes refinadores como: Al-1Ti-3B, Al-3Ti e Al-3B enquanto o Al foi submetido ao refinador Al-5Ti-1B.

O resultado apresentado mostrou que as propriedades de desgaste não são dependentes do refinador de grão, mas dependentes do tamanho de grão da liga e a distância de deslizamento. Já no Al-Si foi observado também o desbotamento do refinador de grão. No estudo Rao *et al* (2003), concluiu-se que para grãos refinados existe correlação positiva entre a taxa de desgaste e a distância de deslizamento. Quando diminui a distância de deslizamento a taxa de desgaste reduz.

Já nos estudos desenvolvidos por Menegaz *et al* (2007), analisou-se o desgaste de compósitos sinterizados sem diamante, utilizados em coroas de sondagem mineral. Nesta pesquisa o ensaio abrasivo foi realizado com lama composta por SiO₂, SiC e Fe₂O₃, para ser relacionado com a dureza do material, composição química e granulometria dos pós metálicos. Para avaliação, foram

realizados ensaios de dureza Vickers e microabrasão em um equipamento tipo Calowear, além da interferometria a laser. Figuras 3.4.2.4 e 3.4.2.5.



Figura 3.4.2.3 - Equipamento de Micro-abrasão (CALOWEAR – LTM/UFU)
Fonte: Menegaz, Scandian, Camargo e Biasoli (2007)



Figura 3.4.2.4 – Equipamento de Microabrasão (CALOWEAR – LTM/UFU)
Fonte: Menegaz, Scandian, Camargo e Biasoli (2007)

Para o teste de microabrasão, foram utilizados os parâmetros, conforme apresenta a tabela 3.4.2.1.

Tabela 3.4.2.1 – Parâmetros do ensaio de microabrasão

Rotação do eixo motor	150 a 180 rpm.
Ângulo de inclinação do suporte	70 [°]
Força normal estática	0,22 ± 0,02 [N]
Abrasivos	- SiC com granulometria média < 5 µm - SiO ₂ com granulometria média < 5 µm - Fe ₂ O ₃ com granulometria média < 5 µm
Concentração do abrasivo	0,1 [mg / cm ³]
Gotejamento do Abrasivo	1 gota a cada 3 segundos

Fonte: Menegaz, Scandian, Camargo e Biasoli (2007)

A pesquisa mostrou que os tipos de desgaste dominantes nos testes de microabrasão foram três corpos submetidos a testes com lama abrasiva de SiC. As análises revelaram indentações (forma geométrica apresentada no material após ensaio de dureza) sem direções preferenciais ao longo de toda a calota provocadas pelo rolamento das partículas abrasivas entre as superfícies e nos dois corpos para testes com SiO₂ e Fe₂O₃, ocorrendo o predomínio de deslizamento de partículas, sendo neste último com menores profundidades de risco, segundo os autores provavelmente devido ao tamanho das partículas abrasivas.

3.5 O CONTROLE DA QUALIDADE TOTAL: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Em 1951, Dr. Shigeru Mizuni e Dr. Kaoru Ishikawa suplementavam os conceitos de Dr. Deming e dados do Controle de Qualidade, para definir um caminho em função da realidade japonesa. O Controle da Qualidade Total é um sistema de gestão aperfeiçoado no Japão a partir de ideias americanas introduzidas neste país logo após a Segunda Guerra Mundial. No Japão, este sistema é conhecido pela sigla TQC, do inglês ("*Total Quality Control*"), sendo baseado na participação de todos os setores da empresa e de todos os colaboradores no estudo e condução da qualidade.

Neste sentido, Ishikawa (1993), formulou dez princípios do controle da qualidade que devem reger os relacionamentos entre fornecedores e clientes. Ele salienta que fornecedor e cliente devem, primeiramente, desenvolver confiança mútua, cooperação e uma determinação de mútua sobrevivência. Com este objetivo em foco, ambos devem praticar os seguintes princípios:

- “Fornecedor e cliente” são totalmente responsáveis pela aplicação do controle da qualidade, com entendimento e cooperação entre seus respectivos sistemas de controle da qualidade.
- Devem ser mutuamente independentes e promover a independência do outro:
 - O cliente é responsável por entregar informações e exigências claras e adequadas de tal maneira que o fornecedor saiba, precisamente, o que deve produzir e oferecer;
 - Fornecedor e cliente, antes de entrar nas negociações, devem fazer um contrato racional com relação à qualidade, quantidade, preço, termos de entrega e condições de pagamento;
 - O fornecedor é responsável pela garantia da qualidade que dará ao cliente a necessária satisfação;
 - Fornecedor e cliente devem decidir, com antecedência, sobre o método de avaliação de vários itens que seja admitido como satisfatório para ambas as partes;
 - Ambos devem estabelecer no contrato os sistemas e procedimentos através dos quais podem atingir acordo amigável de disputas, sempre que qualquer problema ocorrer;
 - Ambos, levando em consideração a posição do outro, devem trocar informações necessárias à melhor condução do controle da qualidade;
 - Ambos devem sempre conduzir de maneira eficaz as atividades de controle dos negócios, tais como pedidos, planejamento de produção e estoque, trabalho administrativo e sistemas, de tal sorte que o relacionamento deles seja mantido numa base amigável e satisfatória;
 - “Ambos, quando estiverem tratando de seus negócios, devem sempre levar em conta o interesse do consumidor final.”

A ideia de cooperação explícita na visão de Ishikawa (1993), aliada aos princípios do Controle da Qualidade Total, busca substituir, de forma inequívoca, a abordagem de disputa pelo poder, comum entre cliente e fornecedor. Desta forma, aumenta-se a competitividade e integração da cadeia produtiva, contribuindo na busca da satisfação dos consumidores finais, e no crescimento de todas as empresas integradas à cadeia.

Os principais conceitos do TQC passarão a ser direcionados pelos seguintes tópicos:

1. Orientação pelo cliente: produzir e fornecer serviços e produtos que sejam definitivamente requisitados pelo consumidor.
2. Qualidade em primeiro lugar: conseguir a sobrevivência através do lucro contínuo pelo domínio da qualidade.

3. Ações orientadas pôr prioridades: identificar o problema mais crítico e solucioná-lo pela mais alta prioridade.
4. Ação orientada por fatos e dados: falar, raciocinar e decidir com dados e com base em fatos.
5. Controle de processos: uma empresa não pode ser controlada por resultados, mas durante o processo. O resultado final é tardio para se tomar ações corretivas.
6. Controle da dispersão: observar cuidadosamente a dispersão dos dados e isolar a causa fundamental da dispersão.
7. Próximo processo é seu cliente: o cliente é um rei ou uma rainha com quem não se deve discutir, mas satisfazer os desejos desde que razoáveis. Não deixe passar produto/serviço defeituoso.
8. Controle de monte: a satisfação do cliente se baseia exclusivamente em funções a montante. As contribuições à jusante são pequenas (identificar as necessidades verdadeiras dos clientes, assegurar a qualidade em cada estágio, prevê falhas, preparar padrão técnico, etc.).
9. Ação de bloqueio: não permita o mesmo engano ou erro. Não tropece na mesma pedra. Tome ação preventiva de bloqueio para que o mesmo problema não ocorra outra vez pela mesma causa (utilizando FMEA- failure mode and effect analysis, FTA- falt tree analysis, etc).
10. Respeito pelo empregado como ser humano: respeitar os empregados como seres humanos independentes (padronizar tarefa individual, educar e treinar, delegar tarefas, usar sua criatividade, fornecer programa de desenvolvimento pessoal, etc.).
11. Comprometimento da alta direção: entender a definição da missão da empresa e a visão e estratégia da alta direção e executar as diretrizes e metas de todas as chefias - publicar definição da missão da empresa, visão e estratégia de alta direção, diretrizes de longo e médio prazo, metas anuais, etc. (CAMPOS, 1994, p. 14).

No Controle da Qualidade Total (TQC), a identificação e a solução de problemas ocorrem através de algumas técnicas e ferramentas estatísticas, que auxiliam na correta tomada de decisões com base em análise de fatos e dados. A correta utilização destas ferramentas de Controle de Qualidade poderá possibilitar um melhor aproveitamento dos dados, o que garante o sucesso, na identificação, observação, análise e ação corretiva nas causas de um problema.

A união entre fornecedor e cliente auxilia bastante na identificação da causa raiz dos problemas, bem como na implementação das soluções. Neste sentido, Paladini, (1997, p.66) afirmou que as técnicas de controle da qualidade total são:

[...] dispositivos, procedimentos gráficos, numéricos ou analíticos, formulações práticas, esquemas de funcionamento, mecanismos de operação, enfim, métodos estruturados para viabilizar a implantação da Qualidade Total. Normalmente, cada ferramenta refere-se a uma área específica do projeto ou do funcionamento do sistema da Qualidade ou, ainda, da avaliação de seu desempenho. As ferramentas dispõem de ênfase específica, que pode referir-se a uma análise prática do processo produtivo para, por exemplo, determinar previsões acerca de seu desenvolvimento; ou à análise da ação de concorrentes em uma mesma faixa de mercado ou, ainda, a como melhor atender a um grupo de consumidores.

Logo, de forma sucinta, dando continuidade às ideias do autor, pode-se dizer que essas técnicas são um conjunto de "ferramentas" estatísticas de uso consagrado para melhoria da qualidade de produtos, serviços e processos. Tal fato, que estas técnicas quantitativas, podem auxiliar um gerente na coleta, no agrupamento, na apresentação e na análise dos dados gerados por um processo.

Segundo Peinado e Graeml (2007, p.538):

A literatura técnica sobre qualidade identifica sete ferramentas básicas a serem utilizadas para auxiliar a localização, compreensão e eliminação de problemas que afetam a qualidade do produto ou do serviço. Especialistas afirmam que a maioria dos problemas empresariais pode ser analisada e resolvida com a utilização destas sete ferramentas.

Portanto, as sete ferramentas mais utilizadas no controle estatístico da qualidade são: fluxograma de processos ou diagramas de processos, folhas de verificação, gráficos de controle de variáveis e atributos, histograma, gráfico de dispersão ou correlação, análise de pareto e diagrama de causa e efeito, conforme (ISHIKAWA, 1993):

- Fluxograma ou diagramas de processos: contribui para mapeamento do sistema e dos processos, facilitando a visualização de cada etapa; Contribui também para identificação de problemas.
- Folha de verificação: ferramenta importante na coleta de dados relativos ao processo, como por exemplo: contagem de produtos defeituosos.
- Gráficos de controle estatístico de processos: utiliza a média do processo, amplitude para cálculo dos limites superior e inferior. Com a média, limite superior e inferior definido é possível verificar se o processo está ou não sob controle estatístico. O que significa que o processo deverá ter uma variabilidade normal em torno da média ou média das médias. Caso um dos pontos ultrapasse os limites superior ou inferior demonstra que existem

causas especiais relacionadas a máquina, mão de obra, matéria-prima, método, meio-ambiente e medida.

- Análises de Pareto: trata-se de uma análise que apresentará os erros ou anomalias do processo em ordem decrescente. Contribui para a visualização dos problemas com maior incidência do ponto de vista de quantidade e percentuais relativos ao montante das anomalias.
- Histogramas: analisa tempo, peso, tamanho, entre outros dados. Apresenta a distribuição dos dados do processo considerando a variabilidade e a frequência que os mesmos ocorrem. A partir da análise da distribuição é possível compará-las com os parâmetros e tolerâncias do processo e, portanto, tomar decisão sobre possíveis mudanças ou melhorias.
- Diagramas de causa e efeito: diagrama desenvolvido por Kaoru Ishikawa que prevê a análise dos 6 M's (método, mão de obra, matéria-prima, máquina, medida, meio ambiente). É uma ferramenta utilizada principalmente a partir de métodos e técnicas de controle da qualidade.
- Gráfico de dispersão ou correlação: o gráfico de dispersão ou correlação analisa a influência entre duas variáveis no desempenho de determinado processo.

Estas ferramentas são de simples entendimento, porém se utilizadas corretamente podem se transformar em um eficiente instrumento de solução de problemas, sendo que, "o objetivo básico destas sete ferramentas é auxiliar seus usuários a entenderem o processo, para providenciar o meio de melhorá-lo" (PALADINI, 1997, p.67).

Para aplicar as ferramentas da qualidade Shewhart desenvolveu o ciclo PDCA. O objetivo era definir um modelo de gestão que contemple planejamento, execução, controle e melhoria. Conforme apresenta a figura 3.5.1.

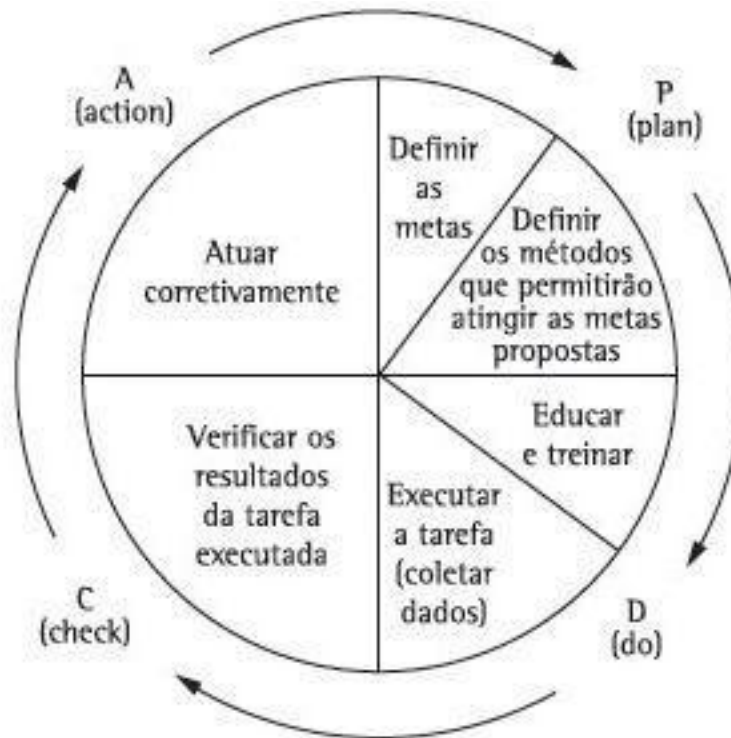


Figura 3.5.1 – Modelo gerencial PDCA
 Fonte: Prod. vol.21 n°.4 São Paulo 2011 Epub Sep 16, 2011

A figura 3.5.1 apresenta o modelo PDCA desenvolvido por Walter Shewhart nos anos 30 e utilizado nas organizações para gerenciar os sistemas produtivos. Definir metas e/ou plano de ação com objetivo de desenvolver melhoria nos sistemas produtivos. Para Andrade e Melhado (2003), o modelo PDCA de melhoria existe quando uma meta é definida.

O Controle da Qualidade e a Gestão da Qualidade evoluíram para outros campos do conhecimento em função da aplicabilidade dos métodos, técnicas e ferramentas da qualidade. Por exemplo: segurança do trabalho e meio ambiente. Segundo Fischer *et al* (2009), o controle da qualidade deve contemplar principalmente o homem como referencial do ponto de vista da ergonomia. Isto no sentido de interação homem-máquina, redução de carga e, assim, proteção à saúde. Para estes autores é necessário desenvolver planejamento da qualidade e controle da qualidade no chão de fábrica para reduzir os riscos de acidentes de trabalho e melhorar a produtividade. Juran (1988), afirmou ser necessário analisar os custos da má qualidade e criou um modelo gerencial para isso, conforme figura 3.5.2.

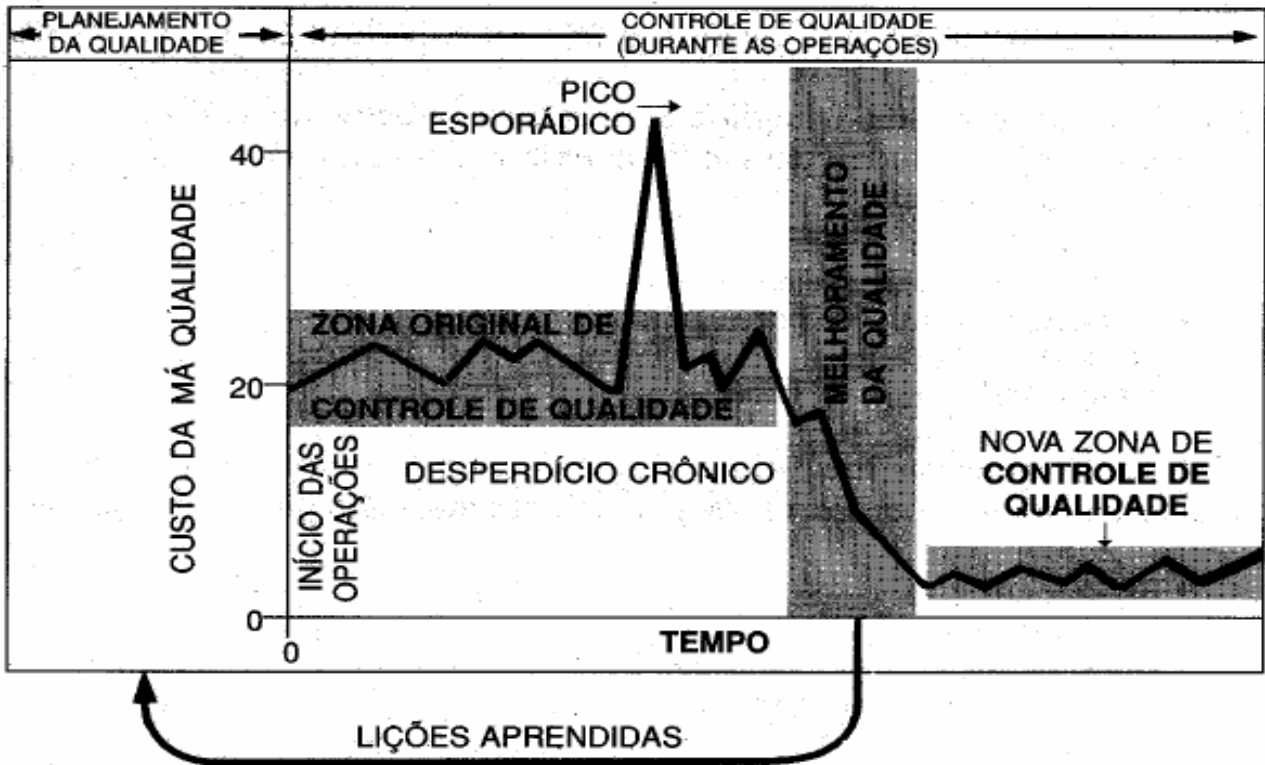


Figura 3.5.2 – Diagrama de Trilogia Juran
 Fonte: Juran & Gryna, 1988 – *Quality Control Handbook* – 40ª Edição

As figuras 3.5.1 e 3.5.2, demonstram a necessidade de planejar a qualidade, por meio de objetivos e metas, controlar a qualidade através do acompanhamento dos processos para verificar as atividades e recursos que não agregam valor e a partir da identificação, desenvolver melhoria e padronizar a nova zona de controle. Nos dias atuais uma empresa só consegue garantir sua sobrevivência, dentro do mercado competitivo, se contribuir para a plena satisfação das necessidades das pessoas, sendo este o seu principal objetivo.

Campos (1992), embasado pelos teóricos já citados, definiu dimensões da qualidade total que as empresas devem objetivar para atender às necessidades dos clientes. A tabela 3.5.1 apresenta estas dimensões.

Tabela 3.5.1 - Componentes da Qualidade Total

	DIMENSÕES DA QUALIDADE TOTAL		PESSOAS ATINGIDAS
QUALIDADE TOTAL (Para satisfazer as necessidades das pessoas)	QUALIDADE	Produto/Serviço	Cliente, vizinho
		Rotina	
	CUSTO	Custo	Cliente, acionista. Empregado e vizinho
		Preço	
	ENTREGA	Prazo certo	Cliente
		Local certo	
		Quantidade certa	
	MORAL	Empregados	Empregado
	SEGURANÇA	Empregados	Cliente, empregado e vizinho
		Usuário	

Fonte: Adaptado de Campos (1992)

3.6 ENGENHARIA DA QUALIDADE

Segundo Montgomery (2004), todo produto possui um número de elementos que em conjunto, descrevem o que o consumidor considera como qualidade. Estes parâmetros são, em geral, chamados características da qualidade. Estas podem ser de diferentes tipos: físicas – comprimento, largura, voltagem, viscosidade; sensoriais – gosto, aparência, cor; orientação temporal – confiabilidade, durabilidade e praticidade.

Na visão de Montgomery (2004), a engenharia da qualidade é o conjunto de atividades de cunho operacional, gerencial e de engenharia que uma organização utiliza para garantir que as características da qualidade de um produto estejam nos níveis nominais ou exigidos. Assim, a Engenharia da Qualidade pode contribuir muito com as pesquisas relacionadas a materiais, no que tange função, estrutura, processo, desempenho e propriedades.

Dentro deste enfoque Ferreira e Cruz (2008), definiram em uma pesquisa grupos de métodos analíticos para avaliação, por exemplo, da qualidade do biodiesel. A partir dos métodos definidos por eles foi possível determinar contaminantes provenientes da matéria prima, propriedades inerentes às estruturas moleculares, monitoramento da qualidade do biodiesel durante o processo de estocagem e avaliação do processo produtivo.

É de conhecimento de todos que a variabilidade em torno dos requisitos é a principal causa das organizações não conseguirem garantir produtos e serviços com características de qualidade sempre idênticas de uma unidade ou lote para outro. Deming (1990), um dos gurus da Qualidade disse: "Se eu tivesse de resumir toda a minha mensagem em poucas palavras, eu diria: Reduza a variação". Para Montgomery (2004), há certa quantidade de variabilidade em todo produto; assim, dois produtos nunca são exatamente idênticos.

Com a evolução da qualidade e, principalmente no controle e melhoria da qualidade, surgem programas com modelos gerenciais que seguem a mesma configuração do ciclo PDCA. Um exemplo é o programa Seis Sigma.

Para Werkema (2002), o programa Seis Sigma deve ser inserido na cultura organizacional. Desta forma, a autora, afirma que é necessário treinar especialistas para implementar o programa. Os especialistas recebem títulos que se enquadram dentro de um organograma definido para a implantação do programa e que na maioria das vezes possui a mesma hierarquização organizacional, conforme apresenta a figura 3.6.1.

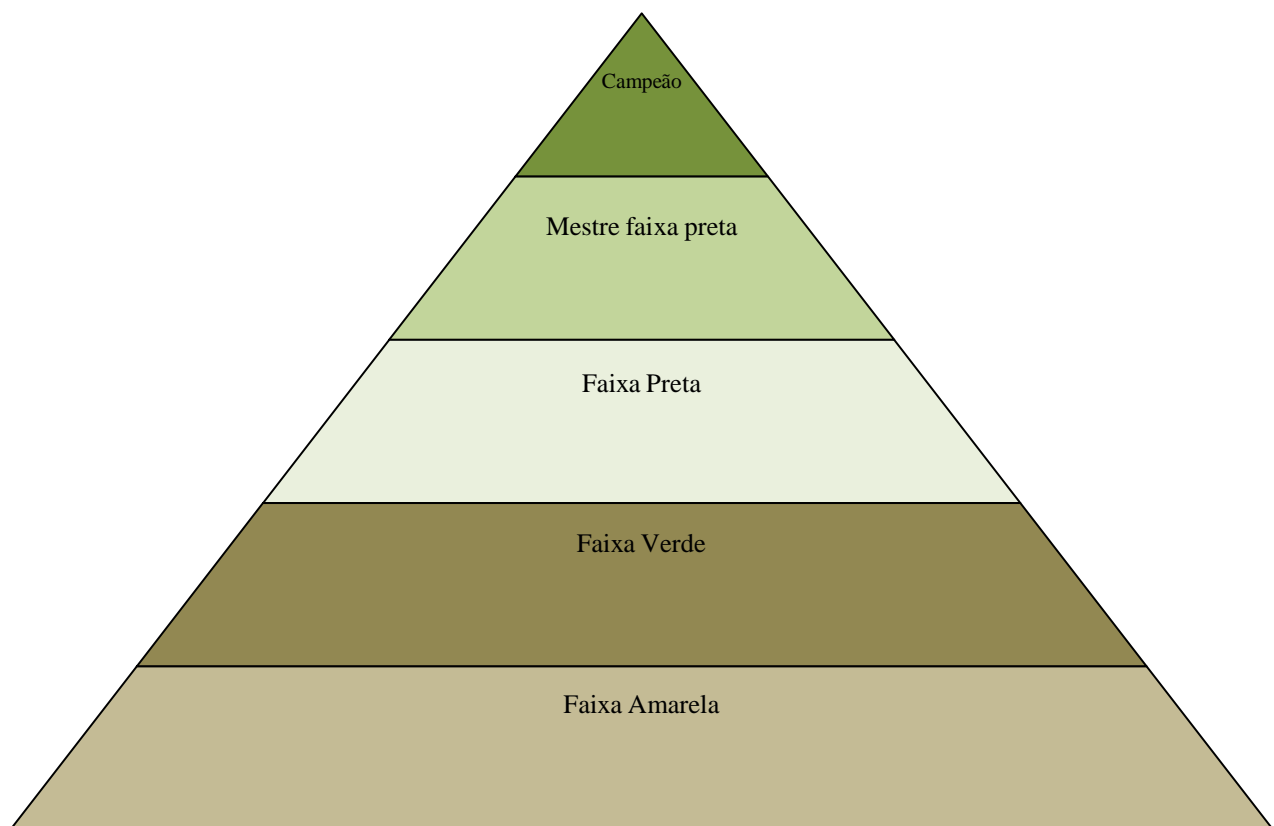


Figura 3.6.1 – Hierarquia da Equipe Seis Sigma
Fonte: Filho, 2011

Para a implantação do programa “seis sigma”, conforme figura 3.6.1, é necessário que se forme uma equipe e que esta equipe possua qualificação. A qualificação da equipe está no conhecimento de ferramentas estatísticas e gestão de processos e pessoas.

A hierarquia da equipe ou time “Seis sigma” é coerente com a pirâmide hierárquica de uma empresa e seu organograma. Assim, na base está a equipe que possui faixa amarela – colaboradores que estão envolvidos com a execução dos processos e participam da coleta de dados. Acima, está o grupo faixa verde – colaboradores que se envolvem com coleta de dados e acompanham análises estatísticas. Juntamente com a equipe faixa preta, que são gerentes que realizam análise estatística e geram resultados encaminhados e discutidos com os mestres faixa preta. Os mestres faixa preta estão inseridos normalmente no nível estratégico da organização e interagem com os campeões são diretores e consultores envolvidos com o programa e processo em que esse foi implementado.

Em pesquisa realizada por Carvalho, Ho & Pinto (2007), para a constatação da implantação do “Seis Sigma” no Brasil foram enviados questionários a 198 empresas instaladas no país, multinacionais ou nacionais. Dentre elas, 46 responderam que aderiram ao sistema devido à “melhoria da qualidade e da produtividade” (87% das empresas acederam), já as outras foram por exigência dos clientes ou imposição da matriz e/ou marketing. Os principais resultados apontados pelas empresas pesquisadas como oriundos do programa Seis Sigma foram “maior qualidade” (85%) e ganhos financeiros (83%). Foi também relatada, por 36 empresas (78%), uma “maior produtividade” e “maior satisfação dos clientes internos” (70%) e externos (67%). Portanto, as empresas que implantaram o sistema possuíram uma melhoria na produtividade muito acentuada, e como o objetivo de todas as organizações é o lucro, os ganhos financeiros elevado em quase todas as empresas idealizadas pelo programa.

Há uma versatilidade no sistema Seis Sigma, que pode ser exemplificada pelos estudos feitos por Berlitz & Haussen (2005), aplicado em laboratórios clínicos. Abordou o impacto do programa nos processos técnicos e concluiu que a utilização da métrica sigma na avaliação da qualidade de desempenho de processos técnicos permite otimização e eficiência na gestão de processos técnicos no laboratório clínico. Favorece a padronização de um sistema de controle de qualidade e reduz o custo-efetivo, alinhando qualidade e metas de custo, sempre com foco na satisfação dos clientes e na saúde financeira da organização.

Na análise de Souza & Demétrio (2010) em uma metalúrgica, especificamente no processo de fundição, utilizou-se a metodologia Seis Sigma para a obtenção de uma melhoria contínua e conseqüentemente diminuição nos índices de falhas. Com a padronização das atividades, a empresa enfrentou dificuldades, pois houve a necessidade de planejar o sistema de gestão de processos, bem como delinear os problemas e alinhá-los. Diagnosticadas as necessidades, constatou-se a resistência

de alguns colaboradores diante da busca pela mudança. Por outro lado, a empresa também obteve um resultado financeiro em curto prazo de 75% (setenta e cinco por cento). Houve aumento no faturamento e projetou-se ao longo prazo atingir um aumento 100% (cem por cento) do faturamento. Isto proporcionou benefícios para a empresa como a otimização dos processos e o melhoramento dos procedimentos.

Para Vieira & Epprecht (2009), técnicas estatísticas e matemáticas são aplicáveis para o desenvolvimento, melhoria e otimização de processos produtivos. Estas técnicas são igualmente úteis para o projeto e desenvolvimento de novos produtos, bem como para a melhoria de produtos existentes. Neste contexto, é particularmente importante aplicar estas técnicas na identificação de fatores que influenciam na variabilidade de características de qualidade de processos ou produtos. Já na pesquisa de Beretta et al (2011) em estudo sobre a redução da variabilidade da qualidade do carvão com otimização do tamanho de pilhas de homogeneização, um dos grandes problemas em todas as etapas pós-lavra era a variabilidade do minério *in-situ*. O estudo apontou que um dos principais parâmetros para a redução da variabilidade na pilha é a massa de minério estocado. Portanto, a Engenharia da Qualidade persegue a redução da variabilidade de processos e produtos a partir da aplicação de ferramentas, técnicas e métodos.

Segundo a norma ISO 9001:2008, cabe à organização identificar os requisitos determinados pelo cliente (requisito 7.2) e ainda os não declarados pelo mesmo, mas indispensáveis ao bom funcionamento do produto, inclusive no que abrange e integram atividades de pós-entrega. Os requisitos estatutários e regulamentares e algum requisito adicional necessário também devem ser observados.

Após a definição das especificações, a norma ISO 9001:2008 - item 7.2.2, determina que as especificações sejam analisadas criticamente do ponto de vista da viabilidade de sua execução, antes que a organização se comprometa a fornecer o produto em questão. O mesmo se aplica aos requisitos do contrato com o cliente. Este item tem grande influência na satisfação do cliente. A organização deve se comprometer a cumprir estritamente o que ela é capaz de realizar. Portanto, para a análise crítica dos requisitos relacionados ao produto é importante que haja um procedimento operacional.

3.7 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Entre as técnicas de Engenharia da Qualidade tem-se o Planejamento de Experimentos do inglês *Design Of Experiment*. Montgomery (2004) afirma que antes de iniciar a experimentação é importante estabelecer o planejamento do experimento. Destaca a importância do domínio do

problema por parte de todas as pessoas envolvidas no experimento e, recomenda que o processo, seja cuidadosamente monitorado para garantir que tudo seja realizado de acordo com o planejado. Para Juran (1992), Planejamento de Experimentos é um processo criativo, baseado em grande parte na perícia tecnológica ou funcional. Os resultados finais do projeto de produtos são procedimentos, especificações, fluxogramas, planilhas e, especialmente, metas para características dos produtos. A saída deste planejamento deve ser adequada ao método de operação da organização. Na figura 6.1.2 é possível verificar a estratégia utilizada para a execução da técnica DOE.

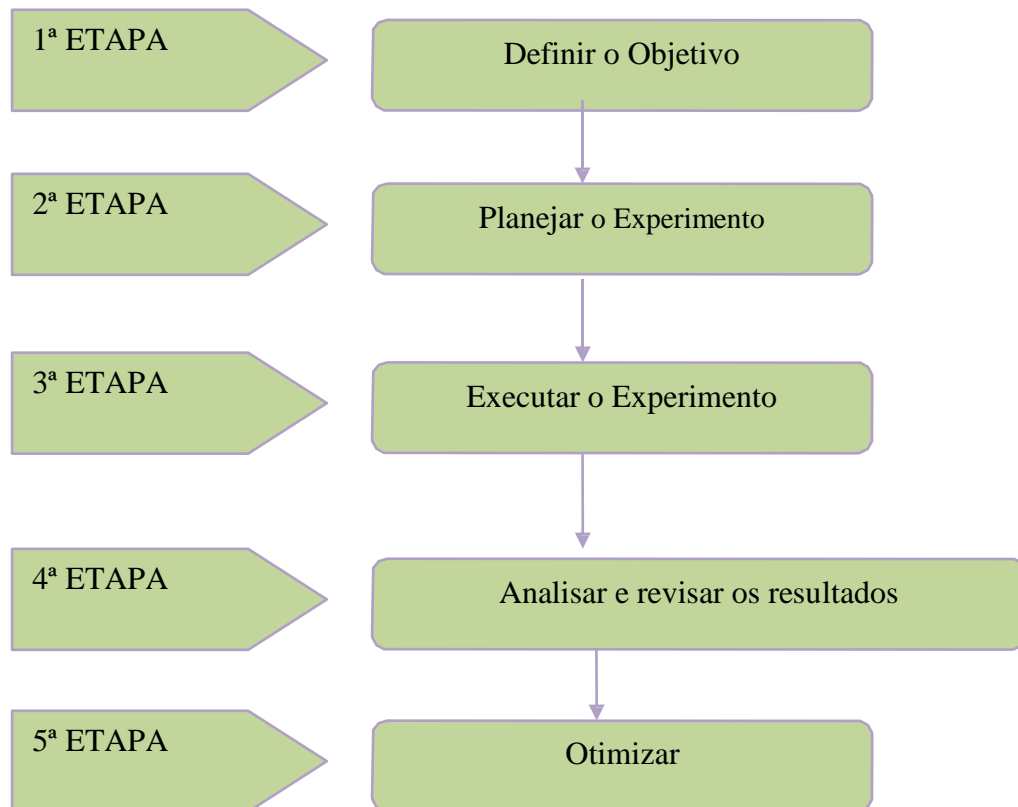


Figura 3.7.1: Estratégia de um Experimento.
Fonte: Adaptado de Montgomery, 2004.

Na primeira etapa define-se qual é o resultado esperado para o experimento, na segunda planeja-se por meio da seleção de variáveis controláveis, na terceira executa-se o experimento verificando as interações entre as variáveis e as respostas, na quarta analisa-se os resultados e na quinta otimiza-se os resultados de acordo com o objetivo.

As diretrizes para o planejamento de qualquer experimento pode ser definida como técnica de sequência de dados – os resultados obtidos de ensaios experimentais podem ser analisados por meio de análises estatísticas possibilitando conclusões objetivas. O planejamento de experimentos deve ser baseado numa técnica também estatística, que é a única forma objetiva de avaliar os erros

experimentais que afetam estes resultados. Para Montgomery (1991) há três técnicas básicas para a definição dos ensaios num planejamento experimental. A primeira é o uso de réplicas, a segunda a aleatorização (ou "randomização") e a terceira de blocos. A réplica consiste na repetição de um ensaio em condições pré-estabelecidas. Esta técnica permite obter uma estimativa de como o erro experimental afeta os resultados dos ensaios e, se esses resultados, são estatisticamente diferentes. Também permite verificar se existe influência de uma determinada variável sobre o comportamento do processo, quando a comparação é feita pela média das amostras. Na visão de Juran (1988), experimentos, estatisticamente concebidos ou não, são um componente do processo de aprendizagem. O método científico é um processo interativo. Os experimentos visam responder perguntas baseadas no estado atual de conhecimento. Os resultados dos experimentos fornecem dados que podem confirmar ou modificar as ideias iniciais. A aleatorização ou randomização é uma técnica de planejamento experimental puramente estatística, em que a sequência dos ensaios é aleatória e a escolha dos materiais que serão utilizados nestes ensaios também é aleatória. Uma das exigências do uso da técnica estatística para o planejamento experimental e para a análise dos resultados é que as variáveis estudadas e os erros experimentais observados apresentem um caráter aleatório, o que é obtido pelo emprego da técnica.

A técnica dos blocos gera maior precisão no experimento, reduzindo a influência de variáveis não controláveis. Um bloco é definido como uma porção do material experimental ou amostra que possui como característica o fato de ser mais homogêneo que o conjunto completo do material analisado. A técnica de blocos envolve a comparação entre as condições de interesse na experimentação. Nesta técnica considera-se a sequência de ensaios.

Segundo Montgomery (1991), os benefícios advindos da utilização do DOE são:

- Redução do número de ensaios sem prejuízo da qualidade da informação.
- Estudo simultâneo de diversas variáveis, separando seus efeitos.
- Determinação da confiabilidade dos resultados.
- Realização da pesquisa em etapas, num processo iterativo de acréscimo de novos ensaios.
- Seleção das variáveis que influem num processo com número reduzido de ensaios.
- Representação do processo estudado através de expressões matemáticas.
- Elaboração de conclusões a partir de resultados qualitativos.

Para Calado e Montgomery (2003), o DOE e/ou Planejamento Experimental é uma técnica muito utilizada e com ela os pesquisadores podem determinar as variáveis que possuem maior influência no desempenho de um determinado processo. A tabela 3.7.1 apresenta as aplicações e resultados do DOE.

Tabela 3.7.1- Aplicações e Resultados do DOE

APLICAÇÕES	RESULTADOS
Avaliação e comparação de configurações básicas de projetos	Redução da variação do processo e melhor concordância entre os valores nominais e os valores pretendidos
Avaliação de diferentes materiais	Redução do tempo do processo
Seleção de parâmetros de projetos	Redução do custo operacional
Projeto e desenvolvimento de Produtos	Produtos projetados, desenvolvidos e produzidos em menos tempo
Determinação de parâmetros de processos Que melhorem o desempenho de produtos	Melhoria no rendimento do Processo

Fonte – Adaptado de Calado e Montgomery (2003)

Estatísticos têm desenvolvido uma série de programações estruturadas chamadas “projetos experimentais” recomendados para a tomada de medidas. Alguns modelos oferecem vantagens econômicas para os experimentos, além de fornecer estimativas diretas dos efeitos experimentais e estimativas válidas de variância. Existem diversas maneiras de classificar os projetos experimentais, contudo, para este estudo será considerado o modelo fatorial 2^k .

O DOE é, portanto, uma técnica estatística utilizada no desenvolvimento de produtos e processos e no controle da qualidade, que Segundo Montgomery (2004) permite mudanças intencionais no projeto para gerar melhor desempenho de produtos e serviços. Os fatores de entrada serão introduzidos utilizando a relação causa x efeito. É necessário confrontar vários fatores contra apenas um de cada vez. Ainda segundo o autor, evita o dispêndio de recursos e garante melhor desempenho do produto final. O DOE é aplicado utilizando variáveis de resposta(Y), fatores de controle (X), níveis dos fatores, réplica e o planejamento experimental.

- **Variáveis de resposta:** também conhecidas apenas como respostas, são as variáveis dependentes que sofrem alterações à medida que os fatores de controle (parâmetros de processo) são modificados.
- **Fatores de controle:** são as variáveis independentes que ao serem variadas em diferentes níveis (intensidades) provocam efeitos diferentes nas variáveis de resposta ou

dependentes. Após a análise estatística é possível determinar a relevância de cada fator na resposta de experimento.

- Níveis dos fatores: representam as diferentes intensidades em que os fatores de controle são variados num determinado experimento. Ao se trabalhar com três níveis são identificados por: nível baixo (-1), nível médio (0) e nível alto (+1).
- Réplica: é a repetição de um ensaio sob a mesma combinação selecionada e com a reprodução das condições experimentais. As réplicas ou repetições são importantes para estimativa do erro experimental (NETO *et al* 1996).
- Matriz de planejamento: é a matriz composta com os fatores de controle com os diferentes níveis para cada combinação a ser avaliada.

Para o sucesso e a confiabilidade de um experimento, além da aplicação das técnicas experimentais e ferramentas estatísticas, é necessário que sejam observadas algumas importantes etapas de avaliação. Ainda segundo Montgomery (2004) as etapas são:

- Reconhecimento e relato do problema – O experimento deve ter o máximo de informações sobre o problema a ser analisado. Um relato claro do problema e dos objetivos do experimento contribuem substancialmente para a compreensão do processo e para a solução, ou seja, a saída.
- Escolha de Fatores e Níveis – Devem ser determinados os fatores (entrada), bem como os níveis de estudo. Neste passo, soma-se reconhecimento prático e teórico por parte do observador. É importante investigar todos os fatores que possam ser importantes e evitar ser influenciado excessivamente pela experiência passada, principalmente nos estágios iniciais do experimento ou em processos não muito amadurecidos.
- Seleção das Variáveis de Resposta – As respostas a serem analisadas devem prover informação suficiente para resolver o problema em questão. A experiência e capacidade do pesquisador é, também, um fator importante nessa etapa.
- Escolha do Projeto Experimental – Caso os passos anteriores estejam corretos, este passo é relativamente simples. Deve-se escolher o tipo de análise levando-se em consideração tempo, custo, dificuldades dos experimentos e objetivos pretendidos.
- Realização do Experimento – o processo de coleta de dados deve ser feito com planejamento geral do experimento, do início ao fim. O uso de uma sequência aleatória para obtenção das amostras é extremamente importante para redução da influência das variáveis de ruído ou erros sistemáticos que possam existir. Também é importante a monitoração do processo para garantir que a execução do experimento esteja coerente com o planejamento.

- Análise dos Dados – os métodos estatísticos para análise dos resultados e conclusões possibilitam uma avaliação objetiva do experimento.

Dentro dessa perspectiva do autor, é importante destacar como ocorre a dinâmica do DOE. Algumas variáveis do processo são controláveis e outras são consideradas não-controláveis. Em alguns momentos os fatores não controláveis são chamados de ruído. O ruído está associado diretamente a fatores macroambientais como, por exemplo, meio ambiente, econômico, normas técnicas, entre outros. A figura 3.7.2 apresenta o modelo de um sistema produtivo adequado ao DOE.

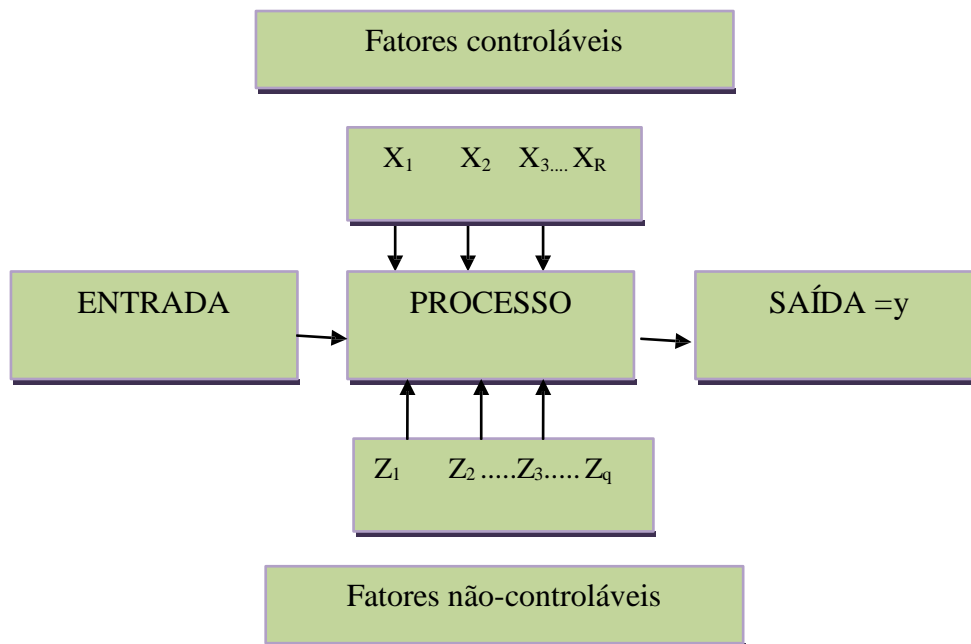


Figura 3.7.2 - Modelo de Sistema Produtivo Adaptado ao DOE.

Fonte: Adaptado de Montgomery, 1991.

Demonstra-se na figura 3.7.2 a configuração do sistema produtivo adequado ao DOE. A técnica é aplicada analisando-se as variáveis de entrada controláveis (X) e não controláveis (Z). Acompanha-se a variação do processo a cada rodada de combinações das variáveis.

Montgomery (2004) afirma que o conhecimento em profundidade do problema é determinante para o sucesso do DOE. O planejamento experimental é uma técnica essencial no desenvolvimento de novos produtos e de novos processos. Considera-se também eficaz para aprimoramento de processos em utilização.

Para Werkema (1996) *apud* Santos *et al* (2006), dentro do DOE, uma das ferramentas mais utilizadas são os experimentos fatoriais, aqueles que incluem todas as combinações de vários conjuntos de tratamentos ou fatores.

O planejamento fatorial é indicado quando se deseja estudar os efeitos de duas ou mais variáveis de influência. O fatorial completo contemplará todas as interações possíveis entre os fatores. Já o experimento fatorial fracionado contemplará apenas as interações que possuírem maior relevância, teoricamente. Portanto, um experimento fatorial completo ocorre quando todas as possíveis combinações de níveis dos fatores são testadas. Adota-se um design com os níveis fatoriais e desta forma quantos são os fatores. Os fatores podem variar de 2-15 para dois níveis fatoriais, por exemplo. Assim o experimento será realizado com 2 a 15 fatores que são definidos após escolha do design e inseridos em os níveis que normalmente são com os sinais (+) atribuídos ao nível superior e (-) atribuído ao nível inferior. Os experimentos fatoriais são validados de acordo com um nível que varia conforme a opção do experimento. Por exemplo, a opção que considera 64 (sessenta e quatro) rodadas ou corridas e (6) seis fatores gera um nível de validação ou confiabilidade alto, representado em verde. Quando vermelho a validação ou poder de resposta é baixa e quando amarelo reflete uma validação que deve ser analisada.

Segundo Juran (1988), projetos fatoriais são mais utilizados em experimentos de engenharia e manufatura. Um experimento fatorial de vários fatores é controlado em dois ou mais níveis. E seus efeitos sobre algumas medidas são investigados. O plano experimental consiste em fazer uma observação em cada uma das combinações possíveis de todos os níveis formados pelos diferentes fatores.

“Um experimentos fatorial com k fatores, cada qual em dois níveis, é conhecido como experimento fatorial 2^k ” (JURAN 1988, p. 47.39).

Juran (1988) afirma que os projetos 2^k possuem uma aplicação industrial generalizada. Estes projetos permitem estimar separadamente os efeitos individuais e os efeitos das interações dos k fatores em um programa experimental, no qual todos os k fatores são variados simultaneamente em um padrão cuidadosamente organizado de julgamentos. Tais experimentos consistem em 2^k ensaios, um para cada combinação de nível dos fatores. Existem diversas notações diferentes para identificar os ensaios individuais (Tabela 3.7.2) demonstra diferentes notações para o planejamento fatorial 2^3 .

Tabela 3.7.2 Diferentes notações para o planejamento fatorial 2^3

Número de entrada	Notação Geométrica			Notação Alternativa			Notação Japonesa			Notação Clássica		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	-	-	-	0	0	0	1	1	1			1
2	+	-	-	1	0	0	2	1	1			a
3	-	+	-	0	1	0	1	2	1			b
4	+	+	-	1	1	0	2	2	1			ab
5	-	-	+	0	0	1	1	1	2			c
6	+	-	+	1	0	1	2	1	2			ac
7	-	+	+	0	1	1	1	2	2			bc
8	+	+	+	1	1	1	2	2	2			abc

Adaptado de Juran (1988).

O experimento fatorial 2^k é definido pelo modelo 3.7.1

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau_{\beta ij}) + (\tau_{\gamma ik}) + (\beta_{\gamma jk}) + (\tau_{\beta\gamma ijk}) + \varepsilon_{ijk} \quad (3.7.1)$$

A equação representa uma média dos dados e as interações de primeira, segunda e terceira ordem. Onde se analisa a média do universo (μ), os fatores $\tau_i, \beta_j, \gamma_k$ e oito tipos de interações com estes três fatores, conforme. Tabela 3.7.2 e equação 3.7.1.

Já o experimento fatorial fracionado ocorre quando apenas uma fração dos fatores for testada.

A figura 3.7.3 lustra um resultado de experimento fatorial fracionado CUBOPLOT. Nesse experimento foram considerados três fatores.

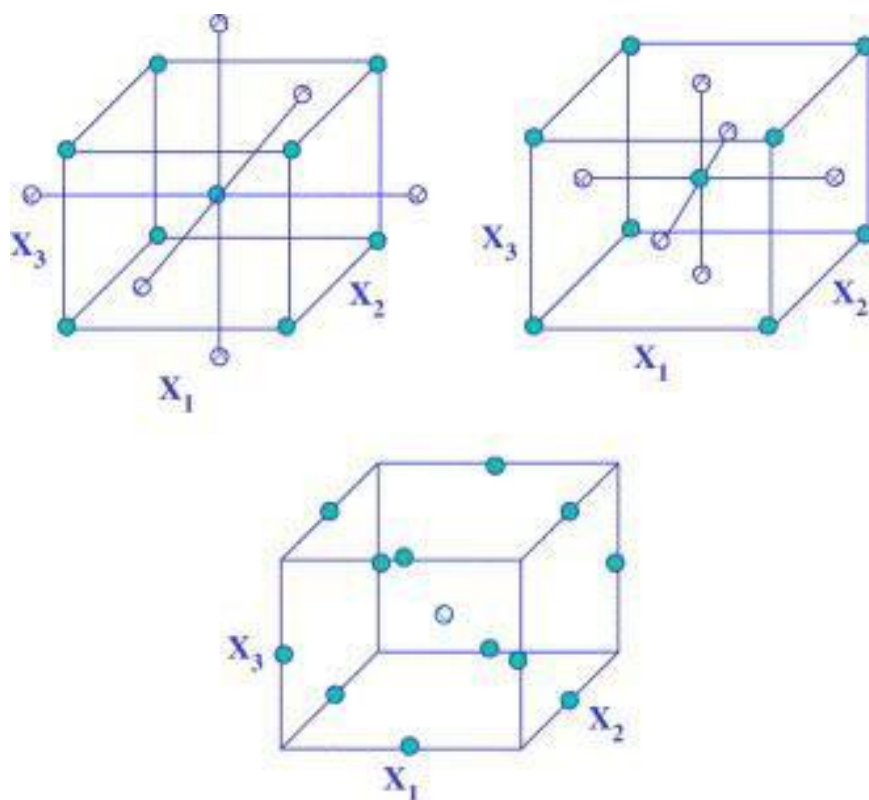


Figura 3.7.3- Rodada de DOE – Experimento Fatorial Fracionado
Fonte: www.Labautopedia.org – THE SLAS KNOWLEDGE NETWORK, 2011.

No experimento fatorial fracionado ilustrado pela figura 3.7.3, apenas os fatores X_1 , X_2 , X_3 , foram contemplados para análise, como controláveis. As combinações, portanto serão realizadas com estes fatores e o Y (resposta).

Estudo realizado por Silva e Silva (2008), demonstrou como o DOE pode contribuir em análise de processos. A pesquisa foi realizada em uma usina nuclear com objetivo de verificar a interação e correlação entre a força do eletrodo e a intensidade de corrente sobre a variável de resposta (resistência da solda). O estudo concluiu que a força do eletrodo exerce maior influência na variável de resposta do que na intensidade de corrente e que o DOE é uma técnica poderosa para melhor entendimento do comportamento do processo como ajuda o experimentalista na tomada de decisão.

Silva *et al* (2009), analisou a aplicação da técnica DOE (*Design of experiment*) ou Planejamento de Experimentos para conhecimento de produto de uma média empresa. O estudo propôs comparar a visão do processo de produção, realizado de forma pragmática, e o processo de produção realizado a partir da análise do planejamento de experimentos. O resultado alcançado foi a redução das reclamações por parte dos clientes. Os autores destacaram a contribuição do DOE para melhorar o conhecimento sobre o processo.

Nunes (2008), utilizou o planejamento de experimentos para analisar a significância entre os parâmetros e assim testar as hipóteses do ensaio com objetivo de desenvolver recobrimentos a base de PET pós-consumo. Analisou a combinação entre pressão, gás e taxa de alimentação em relação ao desgaste do PET.

Logo, é possível afirmar que o planejamento experimental permite a avaliação e comparação de configurações de projetos distintas, com maior precisão, do uso de materiais diversos que consiste na escolha dos parâmetros e tolerâncias dos projetos de um processo ou de um produto.

É possível inferir que o planejamento adequado possibilita, além do aprimoramento de processos, a redução significativa da variabilidade nos resultados, a redução de tempo de análise e dos custos envolvidos.

3.8 *BALANCED SCORECARD* - MEDIDA DE DESEMPENHO

Para iniciar a reflexão sobre a teoria do *Balanced Scorecard* é necessário que se conceitue Gestão Estratégica, pois o *Balanced Scorecard* é uma ferramenta da Gestão Estratégica.

Segundo Daft (1999), Peter (2005), Hitt (2002) *apud* Ferreira *et al* (2009), a Gestão Estratégica contribui com procedimentos e ações necessários para a organização desenvolver a formulação e a implementação estratégica, com o propósito de alcançar os objetivos e as metas, além de auxiliar a organização a superar os desafios do mercado competitivo. Segundo os autores esse processo é composto por algumas etapas, sendo as principais:

- Análise situacional
- Diretriz organizacional
- Formulação da estratégia
- Implementação
- Acompanhamento e controle

A análise situacional é desenvolvida por meio da verificação das forças e fraquezas do ambiente interno e ameaças e oportunidades advindos do ambiente externo. Após análise situacional os objetivos e metas, são traçados, coerentes com a missão, visão e valores planejados estrategicamente. Definidos objetivos e metas o plano de ação é elaborado. Com o plano de ação aprovado pela alta administração e a equipe definida faz-se a implementação. A última fase é o acompanhamento e controle para que efetue melhorias, se necessário. Para o controle é necessário definir uma medida de desempenho. O *Balanced Scorecard*, por conseguinte, foi desenvolvido para medir, exatamente, o desempenho da gestão estratégica. O *Balanced Scorecard* medirá o

desempenho da Gestão Estratégica em quatro perspectivas consideradas essenciais para o sucesso da organização.

Norton, Kaplan (1997) e representantes de grandes organizações de manufatura e serviços, da indústria pesada e da alta tecnologia reuniam-se a cada dois meses a fim de desenvolver um novo modelo de medição de desempenho para contribuir na Gestão Estratégica das organizações até que chegaram ao modelo BSC (*Balanced Scorecard*) (NORTON E KAPLAN, 1997,p.VII).

A evolução da modelo, segundo os mesmos autores, surge de estudos de casos sobre novos sistemas de medição analisados, entre eles a utilização do '*scorecard*' corporativo. Esta nova metodologia, continha medidas financeiras tradicionais e medidas de desempenho relativas a prazos de entrega ao cliente, qualidade, ciclo de processo de produção e eficácia no desenvolvimento de novos produtos.

As reuniões para compartilhar experiências conduziram a uma ampliação do '*scorecard*', denominado '*Balanced Scorecard*' (BSC), que refletia, de acordo com Norton e Kaplan (1997), o equilíbrio entre objetivos de curto e longo prazos, entre medidas financeiras e não financeiras, entre indicadores de tendências (*leading*) e ocorrências (*lagging*) e entre as perspectivas interna e externa de desempenho.

Ainda, segundo Kaplan e Norton (1997), o trabalho junto com executivos de outras empresas reforçou a importância da vinculação das medidas do BSC à estratégia da organização. Na realidade, o *Balanced Scorecard* deixou de ser um sistema de medição aperfeiçoado para se transformar em um sistema gerencial essencial.

Nesta concepção, Kaplan e Norton (1997) asseguram que: "o BSC capacitou as primeiras organizações adeptas a focalizar e alinhar suas equipes executivas, unidades de negócio, recursos humanos, tecnologia da informação e recursos financeiros na estratégia da organização".

No Brasil o termo *Balanced Scorecard* (BSC) foi traduzido por Coutinho e Kallás (2005), como Painel Balanceado de Indicadores, que de acordo com os mesmos, é um conceito que pode ser considerado como uma ferramenta de gestão.

Marinho (1999), afirma que: "o BSC é um sistema de gestão baseado em indicadores que impulsionam o desempenho, proporcionando à organização visão do negócio atual e futura, de forma abrangente".

Para Kaplan e Norton *apud* Guelbert (2008) entre as contribuições do BSC estão:

A composição e a visualização de medidas de performance que reflitam a estratégia de negócios da empresa. O BSC deve levar à criação de uma rede de indicadores de desempenho que deve atingir todos os níveis organizacionais, tornando-se, assim, uma ferramenta para comunicar e promover o comprometimento geral com a estratégia da corporação.

Enfatizando a importância do BSC, Beber *apud* Guelbert (2008) relata que 60% das empresas que constavam na revista *Fortune* 500, responsável pela classificação das principais e maiores empresas Norte Americanas, todas utilizavam o *Balanced Scorecard* como ferramenta de gestão. Guelbert (2008, p. 44), afirmou que para assegurar a eficácia da aplicação, o '*Balanced Scorecard* deve traduzir a missão (razão de ser) e a estratégia de uma unidade de negócios em objetivos e medidas tangíveis.' As medidas representam o equilíbrio entre indicadores externos voltados para acionistas e clientes, e às medidas internas dos processos críticos dos negócios, inovação, aprendizado crescimento. Tais medidas podem ser organizadas em quatro perspectivas, descritas e estão ilustradas na Figura 3.8.1, que comunicam e auxiliam a implementação e o gerenciamento de uma estratégia consistente.

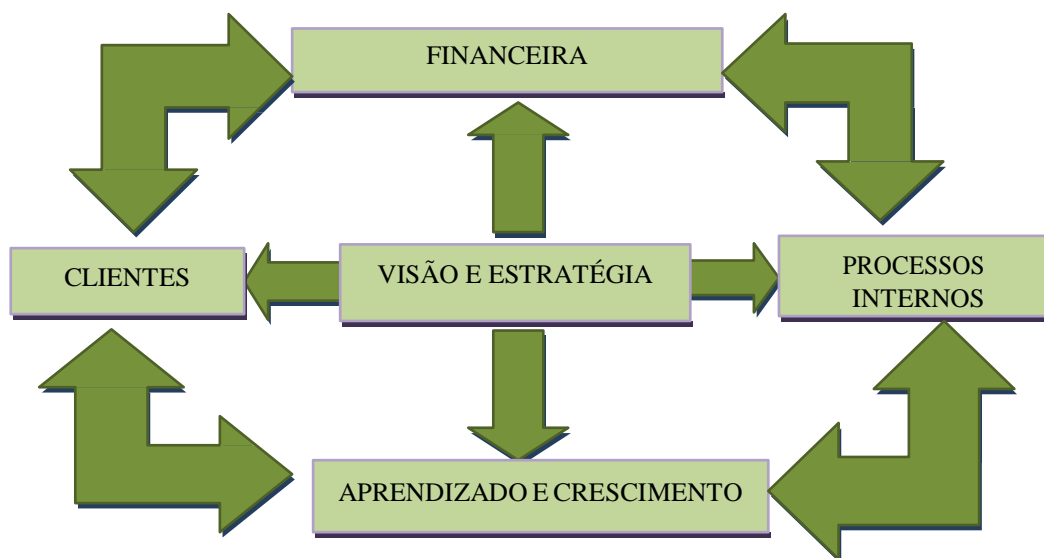


Figura 3.8.1: As quatro perspectivas do *Balanced Scorecard*
 Fonte: Adaptado de Kaplan e Norton *apud* Marinho (1999 p. 15).

Nesta configuração o BSC deve contar a história da estratégia e viabilizar alguns processos gerenciais críticos:

- 1- Esclarecer e traduzir a visão e a estratégia.
- 2- Comunicar e associar objetivos e medidas estratégicas.
- 3- Planejar, estabelecer metas e alinhar iniciativas estratégicas.
- 4- Melhorar o *feedback* e o aprendizado estratégico.

O primeiro passo inicia-se com o trabalho em equipe da alta administração com intuito de criar consenso acerca da Visão e Estratégia da organização. De acordo com Kaplan e Norton (1997, p.12), 'o processo de construção do BSC esclarece os objetivos estratégicos e identifica um pequeno número de vetores críticos que determinam os objetivos estratégicos.'

O processo do *Scorecard* estimula o trabalho integrado para promover a conscientização e o desenvolvimento de medidas e objetivos estratégicos bem definidos, em quatro perspectivas, afim de que todos possam ter o mesmo entendimento das diretrizes estratégicas e o sucesso esperado.

O segundo processo reúne todos os integrantes da instituição, para transmitir e comunicar as medidas e objetivos estratégicos, incentivando assim o diálogo entre as unidades de negócio, executivos e diretores e, o compromisso dos mesmos.

O terceiro processo pode ser utilizado para promover mudanças organizacionais através do estabelecimento de metas de superação e do alinhamento das iniciativas estratégicas de qualidade, tempo de resposta e reengenharia para alcançar objetivos extraordinários (NORTON E KAPLAN, 1997). O quarto processo gerencial é o mais importante e inovador tendo em vista a abordagem do aprendizado estratégico que se torna um diferencial competitivo sustentável.

Cabe destacar que nesse processo é permitido o monitoramento e ajuste, através do processo de *feedback*, das medidas estratégicas e, caso necessário, realizem mudanças na própria estratégia. Conforme Kaplan e Norton (1997, p. 18), "Dum *Balanced Scorecard* bem construído é a explicação das teorias estratégicas operacionais da empresa". O *Scorecard* deve estar baseado numa série de relações de causa e efeito derivadas da estratégia, incluindo estimativas dos tempos de resposta e graus de correlação entre as medidas do *Scorecard*."

Este processo de aprendizado estratégico e *feedback* completam o ciclo que pode ser demonstrado na figura 4.2 e alimenta o primeiro processo, visão e estratégia, onde os objetivos são revistos e atualizados de acordo com os novos conhecimentos adquiridos.

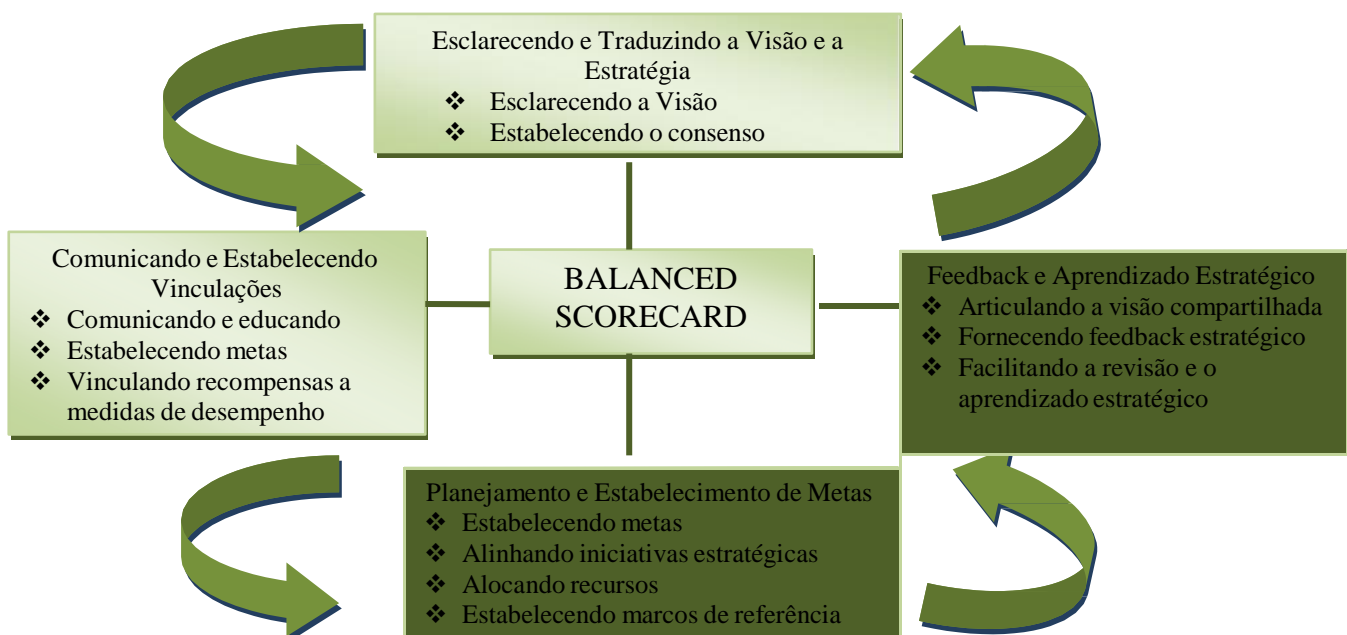


Figura 3.8.2. O *Balanced Scorecard* como Estrutura para Ação Estratégica

Fonte: Adaptado de Kaplan e Norton (1997, p. 12)

A seguir são apresentadas as quatro perspectivas do BSC que podem auxiliar na comunicação, implementação e gerenciamento de uma estratégia consistente.

No BSC, as medidas financeiras são conservadas e utilizadas com o intuito de melhorar os resultados financeiros e contribuir para a implementação e execução da estratégia organizacional.

Nesta concepção, Norton e Kaplan (1997, p.49) afirmam que:

O Scorecard deve contar a história da estratégia, começando pelos objetivos financeiros de longo prazo e relacionando-os depois à sequência de ações que precisam ser tomadas em relação aos processos financeiros, dos clientes, dos processos internos e, por fim, dos funcionários e sistemas, a fim de que, a longo prazo, seja produzido o desempenho econômico desejado.

De acordo com Campos (1994), uma instituição só poderá alcançar o sucesso, se os quatro conjuntos de indicadores estiverem devidamente "balanceados", ou seja, aplicados com graus de importância relativa, porém equitativa, de forma a possibilitar um desenvolvimento real e equilibrado.

Pesquisas como as de Bezerra e Lira (2010), em estudo de caso realizado em uma instituição financeira, comprovaram que uma importante contribuição do *Balanced Scorecard* está no aumento do comprometimento da equipe para com a visão e estratégias organizacionais. As autoras, neste estudo, abordaram as mudanças organizacionais ocorridas com a aplicação do BSC (*Balanced Scorecard*). Perceberam, também, que a perspectiva financeira, bem definida, contribui para a organização atingir seus resultados tangíveis. Refletem sobre a necessidade de se contemplar a visão sistêmica para que seja possível trabalhar com todas as áreas integradas e com o mesmo foco. Outra importante conclusão de Bezerra e Lira (2010) revelam a inter-relação entre a perspectiva dos clientes e a perspectiva do aprendizado e crescimento. Destacam a necessidade de se melhorar a educação e treinamento da equipe e, sugerem que desta forma, é possível aumentar a satisfação dos clientes. Consideraram, por fim, que o BSC (*Balanced Scorecard*) é uma importante ferramenta de gestão estratégica e que contribui para aumentar a competitividade por meio da análise de desempenho.

Estudo realizado por Amorim (2009) relatou a contribuição do BSC (*Balanced Scorecard*) para monitoramento e acompanhamento da avaliação ambiental por meio do planejamento estratégico e gestão estratégica. Significou, segundo o autor, integrar ambiente, sociedade e economia em um plano. Ainda Segundo Amorim (2009), o BSC evoluiu de forma significativa a partir de sua apresentação em 1992, conforme figura 4.3.

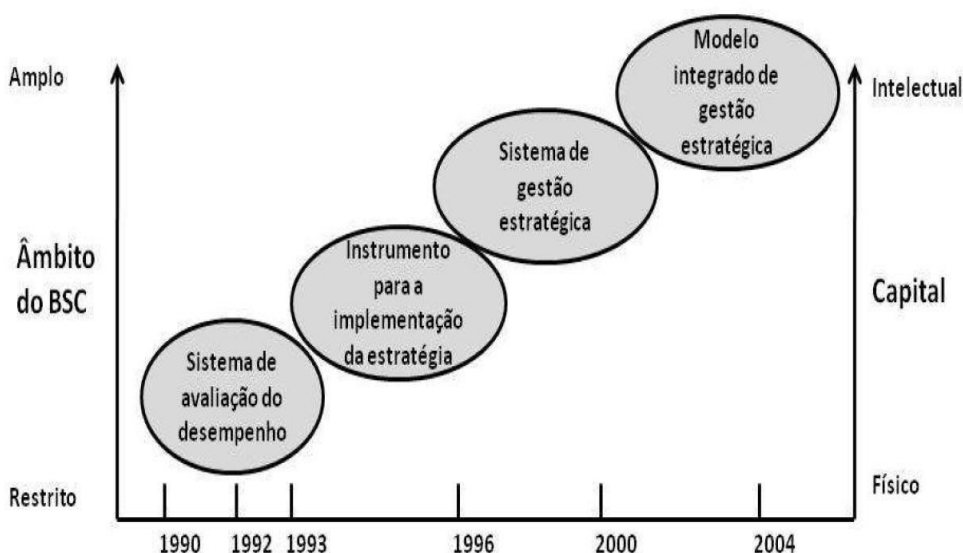


Figura 3.8.3 – Evolução do *Balanced Scorecard*
Fonte: Adaptado de Amorim, 2009.

A figura 3.8.3 ilustra que em 2004 o *Balanced Scorecard* foi incorporado como modelo integrado de Gestão Estratégica. Assim, poderá gerar mais valor medindo os indicadores financeiros e não-financeiros (competências, satisfação dos clientes, qualidade dos processos internos).

Bieker e Gminder (2001) desenvolveram um modelo de *sustentabilidade utilizando o Balanced Scorecard* (SBSC) que integram as dimensões de sustentabilidade corporativa, através de uma estratégia focada no público e nas políticas. Para isto apresentam uma quinta perspectiva, em complemento às quatro perspectivas tradicionais do BSC, a Perspectiva da Sociedade. Esta tem enfoque em objetivos, indicadores e medidas para o público e para o desenvolvimento de políticas, bem como para a investigação de problemas relacionados com a sustentabilidade.

Silva Junior (2007) apresentou a aplicação da metodologia BSC na área de suprimentos de uma indústria petrolífera, mais especificamente com foco nas compras verdes. Foi utilizada uma configuração do BSC (*Balanced Scorecard*) que fosse coerente com a demanda do setor de suprimentos da indústria. Neste sentido definiram agentes BSC e Agentes de compras verdes, conforme quadro 4.1.

Tabela 3.8.1 – Integração Recurso BSC x Agentes Compras Verdes

AGENTES BSC	AGENTES COMPRAS VERDES
Unidade Negócio	Cliente Interno e Regional Norte Nordeste Suprimentos
Recursos Humanos	Compradores
Orçamentos e Investimentos de Capital	Orçamentos
Tecnologia da Informação	Petronect e SAP R3
Equipe Executiva	Gerência Geral e Departamental

Fonte: SILVA JUNIOR, 2007.

O quadro apresenta a interação dos agentes definidos pela área de suprimentos, de forma que se traduzam as estratégias de compras verdes em termos táticos. Segundo o autor, alinhando a organização à estratégia por meio do comprometimento de todos. Seguindo a perspectiva de aprendizado e crescimento, as medidas BSC foram associadas ao sistema de compras verdes adotadas pela indústria.

Em pesquisa realizada por Wagner *et al* (2007) intitulada Alinhamento, Estratégico Organizacional: Impactos e Inovações provocados pela utilização do *Balanced Scorecard* em uma indústria do ramo metal-mecânico, a aplicação do BSC emergiu da visão dos diretores sobre a necessidade de aperfeiçoar sua estrutura e dinâmica de gestão e operação, à medida que se deparavam com desafios impostos pela concorrência acirrada, no setor de atuação e o elevado nível de não-conformidades e problemas dos processos. A necessidade de melhorias motivou a implementação iniciada pela definição clara de objetivos e ações nos níveis estratégico, tático e operacional. Por conseguinte, decidiu-se pela implementação do BSC como ferramenta para medir

o desempenho da gestão. O estudo pode demonstrar as inovações advindas da aplicação da ferramenta e, que é possível por meio da aplicação, gerar maior sinergia e alinhamento nas decisões, ações e projetos em todas as áreas funcionais. Wagner *et al* (2007) concluiu ainda, que o grande desafio está em vencer velhos paradigmas culturais e adotar os princípios do BSC em sua totalidade. Neste estudo apenas foram contemplados os princípios do BSC, não foram discutidas as perspectivas financeiras de processos internos, aprendizado e crescimento e clientes.

3.9 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a obtenção dos resultados foram definidos primeiramente os critérios e indicadores, conforme quadro 3.9.1.

Tabela 3.9.1 - Perspectivas e indicadores previstos para a pesquisa

CRITÉRIOS/PERSPECTIVAS	INDICADORES
Seleção de Materiais (ASHBY, 1992) Seleção de Materiais (FERRANTE, 2002) Ciência e Engenharia de Materiais	Função Material, Processo, Forma, Peso, Resistência Mecânica, Resistência ao desgaste, Conhecimento das variáveis da operação, Facilidade de fabricação, Disponibilidade de Material, Custo, Existência de especificações, Viabilidade de Reciclagem, Valor de Sucata, Grau de Normalização, Requisitos de durabilidade, Número de unidades, Tipo de carregamento, Existência de códigos. Processamento
(CALLISTER,2006)	Estrutura Propriedade, Desempenho.
BSC – <i>Balanced Scorecard</i> (KAPLAN & NORTON, 1997)	Cliente, Financeira, Processos Internos, Aprendizado e Crescimento.
Engenharia da Qualidade (CRANE & CHARLES, 1994) e (MONTGOMERY, 2004)	Função – Especificação do projeto Aparência - Especificação do projeto Processo de fabricação – Especificação do processo e controle da Variabilidade do processo custo da qualidade – Matéria-prima/valor agregado – custo x benefício DOE (<i>Design Of Experiment</i>)

Fonte: Pesquisa Direta(2009)

O quadro 3.9.1 apresenta as perspectivas e os indicadores que embasam a pesquisa. No caso da Seleção de Materiais o estudo utiliza como embasamento as perspectivas de Ashby (1992) e Ferrante (2002) com os indicadores:

- Função do material – qual a função do material quando combinado com outros;
- Material – seleção dos elementos;
- Resistência Mecânica – deformação do material quando submetido à determinada carga ou força;
- Resistência ao Desgaste – o material não perde suas propriedades físicas e mecânicas em função de rotação, pressão ou força exercida por outro material;
- Conhecimento das variáveis da operação – conhecimentos das variáveis críticas para o desempenho do processo;
- Facilidade de Fabricação – condições favoráveis que gerem produtos em menor tempo, baixo custo e alta qualidade;
- Disponibilidade de material – acessibilidade a materiais que atendam aos requisitos de produto e produção;
- Custo – indicador que deve ser avaliado em função do benefício;
- Existência de Especificações – indicador que depende da função do material e do conhecimento das variáveis da operação;

O embasamento para a Ciência e Engenharia de Materiais foi orientado pela abordagem de Callister (2006) contemplando os seguintes indicadores para o estudo:

- Processamento – transformação de materiais em produtos;
- Desempenho – medido do ponto de vista da propriedade x processo x aplicação.

A Engenharia da Qualidade foi embasada pelas abordagens dos autores Montgomery (2004) e Crane & Charles, (1989) e, assim, foi possível chegar aos seguintes indicadores:

- Função – definição do conceito do material;
- Processo de Fabricação – gerador de alto nível de variabilidade;
- Custo da Qualidade – prevenção, valor agregado – custo x benefício.
- DOE (*Design of Experiment*) – indicador capaz de realizar interações entre variáveis e demonstrar o real desempenho do processo e/ou produto.

A perspectiva do *Balanced Scorecard* foi orientada por Kaplan & Norton (1997) que indicam:

- Financeiro – medida de desempenho para excelência em custos;
- Clientes – medida de desempenho para excelência na visão do cliente;

- Processos Internos – medida de desempenho para eficiência e eficácia;
- Aprendizado e crescimento – medida de desempenho para aumento das habilidades e conhecimentos que agreguem valor.

Os próximos itens apresentam a área, o objeto da pesquisa, o instrumento da coleta de dados e a análise.

- Área da Pesquisa: se concentra em um sistema produtivo de uma indústria que desenvolve tecnologia de perfuração para sondagem geológica.
- Objeto da Pesquisa: refere-se ao processo de sondagem, especificamente ao desgaste dos componentes (coroas) utilizadas nas perfuratrizes;
- Coleta e Análise dos Dados: a pesquisa foi iniciada pelo método qualitativo. Entrevistas desenvolvidas com especialistas de três diferentes setores da economia para verificar a viabilidade do conceito BSCEQ, conforme instrumento anexo I.

O segundo momento foi associar o método qualitativo e quantitativo, para definição da metodologia, surgindo a possibilidade de se utilizar o MINITAB 16 (Software Estatístico) para associar ao BSC e, assim, desenvolver experimentos estatísticos que pudessem gerar um resultado tangível para processos e/ou produtos.

Foi necessário selecionar um dos aplicativos do software e a partir da análise do software e da pesquisa bibliográfica, percebeu-se que o DOE (*Design Of Experiment*) poderia gerar o melhor resultado quantitativo, especificamente a análise fatorial.

No primeiro momento da pesquisa utilizou-se dados da pesquisa desenvolvida pelo mestrando Claudiano de J. de Souza que tinha como objetivo: "Analisar o desgaste de matrizes de coroas para perfuração quando submetidas aos diferentes abrasivos utilizados nos ensaios de desgaste". As amostras selecionadas para análise de desempenho foram levadas para o Laboratório de Engenharia de Superfícies e Técnicas Afins – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - Escola de Minas, onde foram realizados os procedimentos. A pesquisa contemplava amostras desenvolvidas na indústria e submetidas a ensaios de desgaste e microscopia óptica.

É importante ressaltar, que no primeiro ensaio, foram utilizadas amostras de fabricação diferente do processo rotineiro da indústria. A diferença foi a não utilização do misturador dos pós. A mistura foi realizada de forma manual e sem considerar a variável tempo, figura 5.2.



Figura 3.9.2 – Pesagem do pó para fabricação da amostra

A figura 3.9.2 ilustra a pesagem dos pós para fabricação das amostras. O padrão de fabricação, entretanto, é a mistura de forma mecânica utilizando um misturador durante 20 minutos. É importante ressaltar que a mistura deverá ficar homogênea.

Os ensaios de desgaste das 10 amostras utilizadas por Souza (2011) seguiram os parâmetros da tabela 3.9.2.

Tabela 3.9.2 – Parâmetros do ensaio de desgaste

Descrição	Quantidade
Carga	240g
Inclinação do platô	30°
Suspensão de sílica	25g/ml
Tamanho de grão	Média:19,5µm
Tempo de ensaio	60 minutos
Intervalo	T ₁ =1' e T ₂ =5'

Antes de iniciar o ensaio de desgaste as amostras foram pesadas para registro de sua massa inicial (Mi), conforme tabela 3.9.3.

Tabela 3.9.3 – Massa Inicial (Mi)

CÓDIGO	MASSA(Mi)
6+	21,76
7	25,56
7+	22,28
6	23,30
10	20,21
5	24,42
11	18,55
8	23,86
3	22,41
9	25,68

Para melhor compreensão da massa inicial das amostras foi realizada análise estatística de distribuição normal e, assim, foi possível ter a média das massas e o nível de confiança da análise desvio-padrão. Figura 3.9.3.

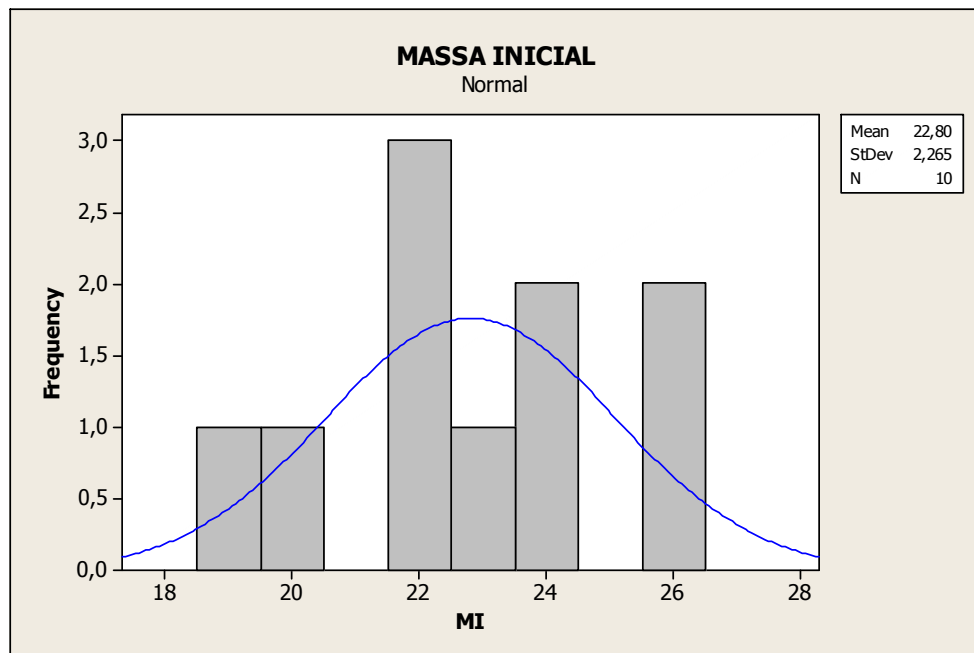


Figura 3.9.3 – Histograma da distribuição dos valores das massas

A figura 3.9.3 apresenta um histograma com a análise da média: 22,80, da massa inicial das amostras, que foram submetidas ao ensaio e o desvio padrão: 2,265. O grau de confiança da análise se revelou alto 97,73%.

A figura 3.9.4 apresenta a máquina de abrasão por esfera utilizada nos ensaios de desgaste.

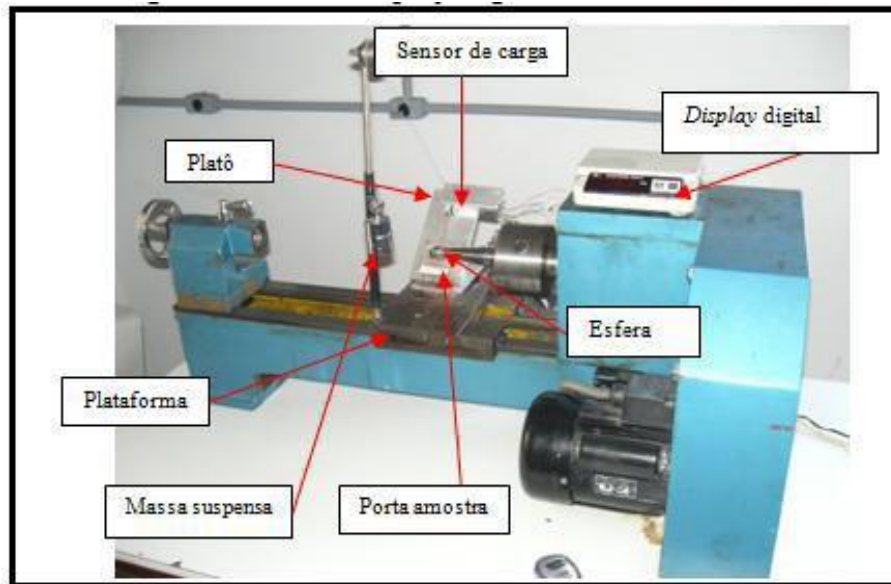


Figura 3.9.4 – Máquina de abrasão por esfera
Fonte – Souza, 2011.

Após ensaio retira-se a amostra e realiza-se limpeza de superfície – mergulhando-a em um béquer com álcool etílico. O béquer é introduzido no aparelho de ultrassom, por 3 minutos, padronizado para todas as amostras. O béquer é retirado do aparelho de ultrassom e em seguida a amostra é submetida à secagem com ar quente. A amostra é colocada na balança para verificação da massa final (M_f), conforme tabela 3.9.4.

Tabela 3.9.4 – Massa Final (Mf)

CÓDIGO	MASSA(Mf)
6+	21,76
7	25,55
7+	22,28
6	23,30
10	20,21
5	24,42
11	18,55
8	23,86
3	22,41
9	25,68

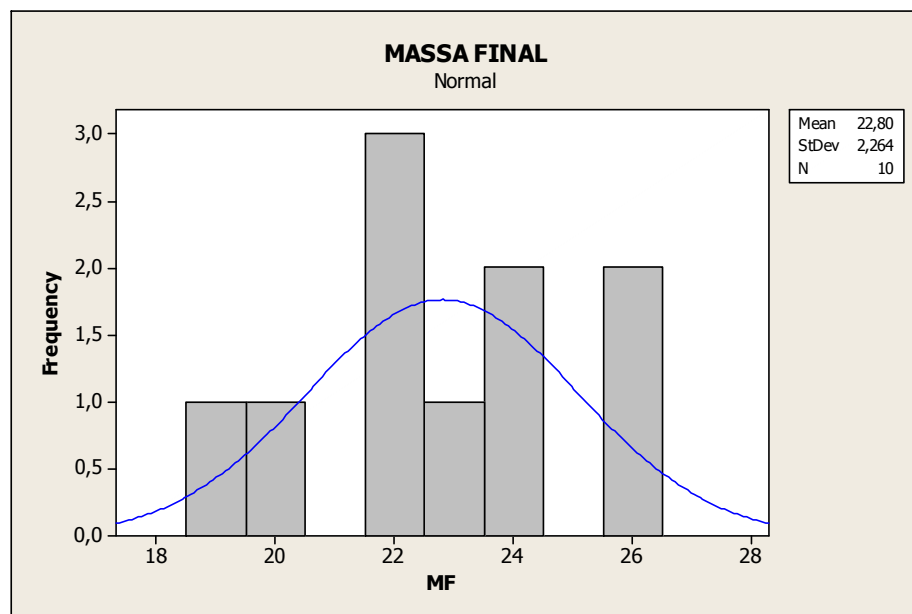


Figura 3.9.5 – Histograma da distribuição dos valores de massa final das amostras

Na figura 3.9.5 ilustra a distribuição normal relativa à massa final das amostras, ou seja, após serem submetidas a ensaio de desgaste com esfera livre. A média se manteve a mesma 22,8 com o mesmo nível de confiança 97,73%, desvio padrão 2,264.

As calotas impressas nas amostras, resultantes do ensaio são medidas e os diâmetros registrados, são analisados por meio do microscópio óptico LEIKA DM4500P. Após ensaio no microscópio óptico verificou-se diâmetros das calotas impressas nas amostras. A partir dessa avaliação obteve-se a medida em μm , que se refere ao desgaste após ensaio, ou seja, traduz o desgaste abrasivo do material em estudo, conforme tabela 3.9.4. Recorre-se a medida do diâmetro da calota para quantificar a perda de material. Com o aumento do diâmetro da calota foi possível concluir se todos apresentaram o mesmo comportamento, considerando o tempo padrão 60 minutos.

As figuras 3.9.4, 3.9.5, 3.9.6, 3.9.7; ilustram os resultados dos ensaios realizados com utilização de suspensão de sílica. Nestes ensaios observou-se o diâmetro de cada calota nos protótipos e fez-se a medição do diâmetro da calota com o software que integra o microscópio óptico Leika DM4500P.



Figura 3.9.4 – calotas impressas após ensaio de desgaste

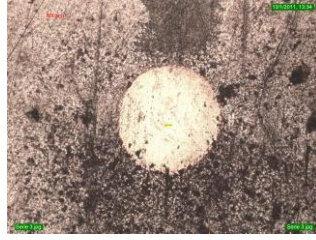


Figura 3.9.5 – calotas impressas após ensaio de desgaste



Figura 3.9.6 – calotas impressas após ensaio de desgaste

Após medição dos diâmetros de todas as calotas, resultantes do experimento, foi possível chegar aos dados apresentados na tabela 3.9.5.

CÓDIGO	DIÂMETRO (µm)
6+	517,8
7	619,4
7+	683,7
6	699,7
10	730,2
5	754,7
11	794,9
8	799,4
3	801,2
9	907,3

Tabela 3.9.5 – Diâmetro médio das calotas impressas nas amostras

No primeiro momento do estudo, considerava-se apenas o diâmetro médio das calotas impressas em µm para uma leitura do comportamento das matrizes e do desgaste existente em campo em relação à litologia. Foi utilizada análise estatística para verificar a distribuição das medidas das calotas impressas e assim compreender qual era a média da distribuição, figura 3.9.8.

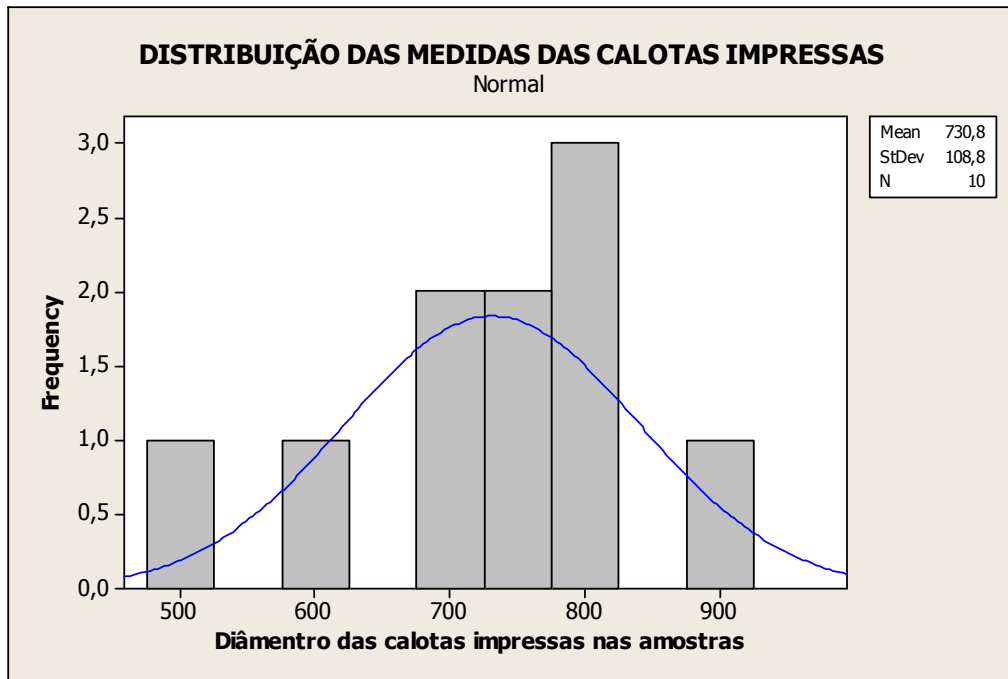


Figura 3.9.7 – Histograma da distribuição das dimensões de calotas impressas nas amostras

Com a análise da figura 3.9.8 foi possível perceber que a maior frequência de desgaste por atrito estava entre as calotas com diâmetros 700μm e 800μm. As matrizes que possuem esta perda de material são as de números 3, 8, 11, 5, 10 e 6. É necessário considerar o fato de que as coroas analisadas são utilizadas em litologias friáveis, fraturáveis e compactas. Dessa forma, apenas, não é possível chegar a uma discussão sobre o desgaste adequado para a operação em campo. Segundo os técnicos, que atuam em campo, as matrizes mais utilizadas são as de números 3,5,7,10. Com base nesta análise houve a motivação para analisar o comportamento que melhor poderia se adequar às necessidades da empresa de pontos de vista financeiro, processos internos, aprendizado e crescimento e da gestão. A partir desses resultados foi possível desenvolver a metodologia BSCEQ.

3.10 DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA BSCEQ

O desafio do estudo estava em associar as perspectivas financeiras, dos clientes, aprendizado e crescimento e, principalmente, processos internos com o planejamento de experimentos, seleção de materiais e a tribologia (especificamente o desgaste). A primeira reflexão se baseou na pesquisa qualitativa figuras 3.10.1, 3.10.2, 3.10.3, 3.10.4 e tabela 3.10.1 sobre a possibilidade de se desenvolver um modelo BSCEQ para Seleção de Materiais. A pesquisa foi aplicada em três organizações dos setores Automobilístico, Siderúrgico e de Mineração. Os especialistas foram indagados sobre o conhecimento da ferramenta estratégica BSC (*Balanced Scorecard*), figura 6.1.

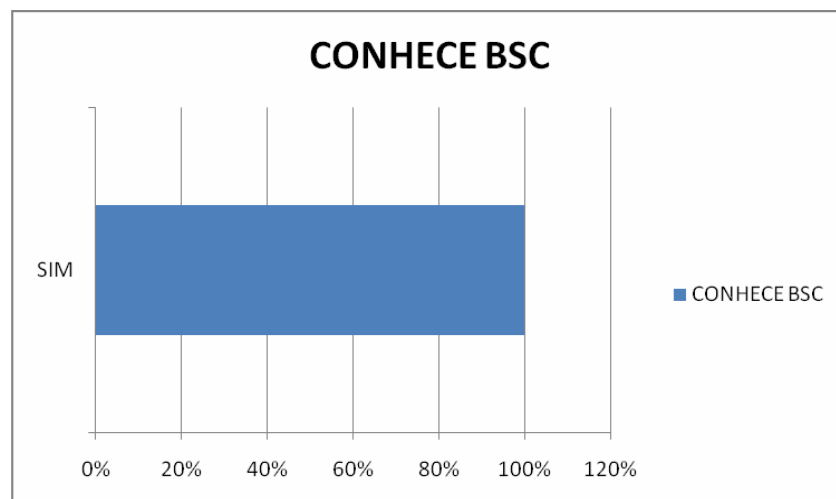


Figura 3.10.1 Resultado da Pesquisa sobre o Conhecimento da Ferramenta Estratégica BSC

Conforme figura 3.10.1, todos os especialistas conhecem a ferramenta estratégica BSC, dessa forma facilitou o andamento da entrevista.

Quando perguntados sobre a possibilidade de existir uma ferramenta BSC de Engenharia da Qualidade utilizado como indicador de desempenho na seleção dos materiais, a resposta foi também positiva, conforme figura 6.2

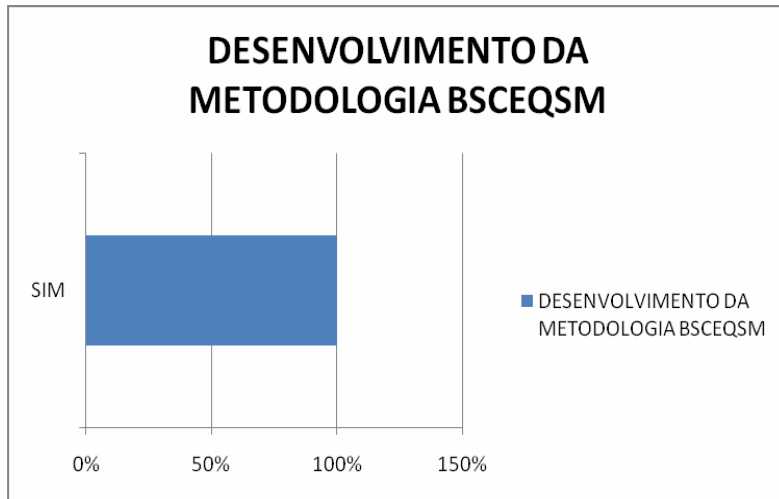


Figura 3.10.2 – Resultado da Pesquisa sobre Desenvolvimento da metodologia BSCEQ

No gráfico 3.10.2 ilustra-se o resultado da pesquisa quanto a visão dos especialistas dos setores automobilístico, siderurgia e mineração, em relação ao desenvolvimento de uma metodologia BSCEQ para a Seleção de Materiais. Todos aprovam a propostas de desenvolvimento da metodologia.

Na tabela 3.10.1 apresenta-se o resultado da pesquisa, quando perguntados sobre indicadores estratégicos para a seleção de materiais.

Tabela 3.10.1- Indicadores Estratégicos – Empresas de Mineração, Automobilística e Siderurgia

INDICADORES	MINERAÇÃO	AUTO	SIDERURGICA	Resposta(%)
PREÇO	1	1	0	66,68
PRAZO	1	1	0	66,68
HISTÓRICO DO FORNECEDOR	1	1	0	66,68
DOE	1	1	0	66,68
ASSISTÊNCIA TÉCNICA	1	1	0	66,68
ESPECIFICAÇÃO DO	1	1	0	66,68
PROCESSO				
DESGASTE	1	1	0	66,68
FORMA	0	0	0	0
ESTUDOS DE CAPACIDADE	1	1	0	66,68
FMEA	1	1	0	66,68
TESTES MECÂNICOS, QUÍMICOS E FÍSICOS	1	1	1	100%
CERTIFICAÇÕES	1	1	1	100%
DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO	1	1	1	100%
GRÁFICO DE PARETO	1	1	0	67%
HISTOGRAMA	1	1	0	67%
GRÁFICO DE DISPERSÃO	1	1	1	100%

A tabela 3.10.1 considera a visão de três especialistas. A resposta 1 significa que o especialista considera estratégica a variável. A resposta 0 significa que o especialista não considera estratégica a variável.

Foi possível concluir, portanto, que é estratégico para as empresas, segundo os especialistas, utilizar como indicadores: diagrama de causa e efeito, especificação do processo e o DOE – *Design of Experiment*.

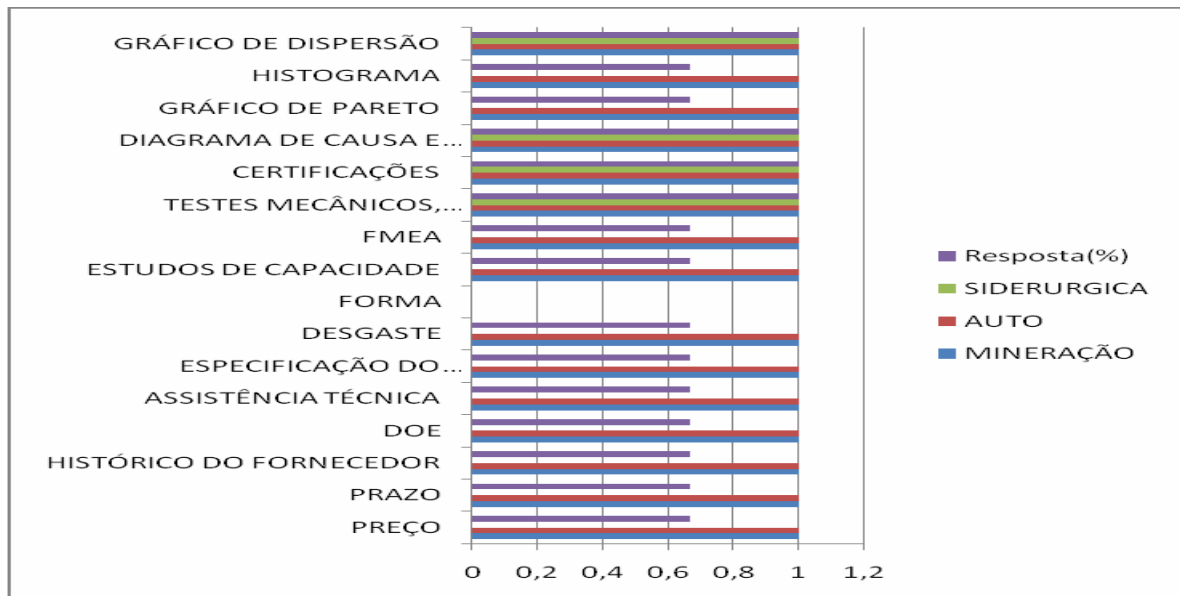


Figura 3.10.3 Indicadores Estratégicos de Desempenho

Foi possível perceber que entre os indicadores considerados importantes estava as ferramentas da qualidade, o desgaste; testes mecânicos, físicos e químicos. Além destes indicadores estavam as técnicas DOE e FMEA. Ainda na pesquisa qualitativa, a última pergunta estava relacionada ao aprendizado e crescimento da empresa: Quais indicadores poderiam ser considerados? As respostas foram tabuladas na figura 3.10.3.

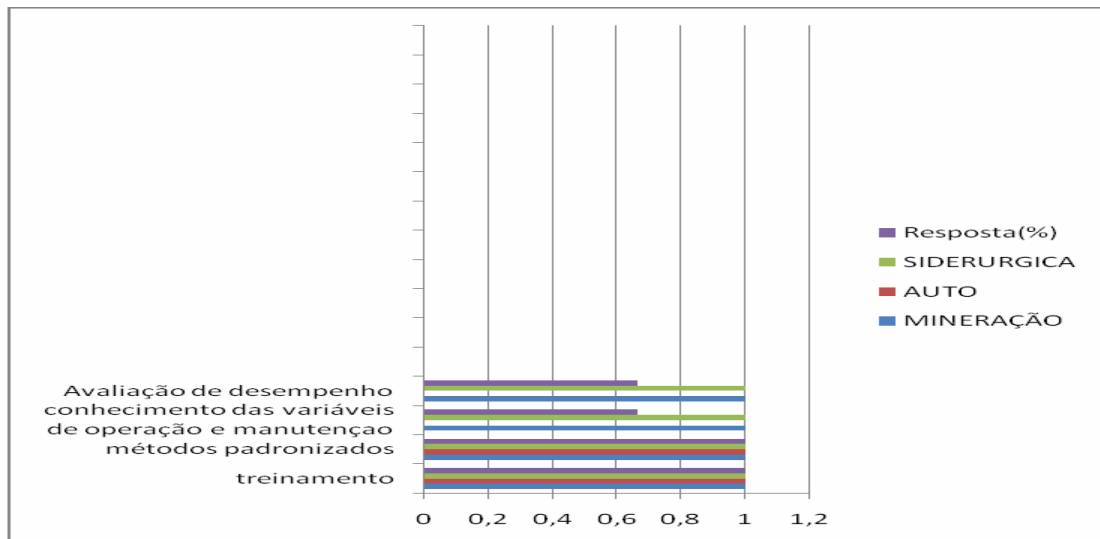


Figura 3.10.4 Indicadores Estratégicos de Desempenho

Por meio da tabela 3.10.1 e da figura 3.10.3 é possível perceber que as ferramentas da qualidade foram consideradas importantes indicadores. Apenas o especialista da empresa do setor de siderurgia não considera todas as ferramentas da qualidade. Para o especialista do setor de siderurgia apenas testes mecânicos, físicos e químicos, certificações, diagrama de causa e efeito e gráfico de dispersão são indicadores de desempenho relevantes. Desta forma confirma a aplicabilidade do BSCEQ para a seleção de materiais, porque poderá identificar as variáveis dos processos internos, capacidade da empresa do ponto de vista de aprendizado e crescimento, custos operacionais e a visão dos clientes e gestão.

Considerando a abordagem de Kaplan e Norton (1997) sobre o *Balanced Scorecard* e a fundamentação teórica de Engenharia da Qualidade especificamente o planejamento de experimentos na visão de Douglas Montgomery (2004), foi possível desenvolver uma metodologia que associa a visão e estratégia dos processos da organização e que sugere estabelecer o consenso. Isto implica em planejar por meio das perspectivas *scorecard* e definir metas de desempenho em relação aos materiais e ao desgaste de componentes.

O resultado da pesquisa qualitativa apontou que a metodologia BSCEQ contribuiria, por estabelecer medidas de desempenho coerentes com as necessidades organizacionais para projetos e desenvolvimentos de componentes, mais especificamente a seleção de materiais, conforme ANEXO I.

Para dar aporte às medidas de desempenho BSC e associar com a Engenharia da Qualidade, optou-se pela técnica DOE (*Design Of Experiment*) ou Planejamento de Experimentos. O Planejamento de Experimentos transforma as perspectivas qualitativas em dados para análise. Isso

ocorre porque se faz a leitura das perspectivas dos clientes internos e externos, processos internos, financeira, aprendizado e crescimento e desta forma é possível gerar dados.

4 APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA BSCEQ

A figura 4.1 apresenta o diagrama da metodologia BSCEQ para seleção dos materiais aplicada ao processo de sondagem mineral.

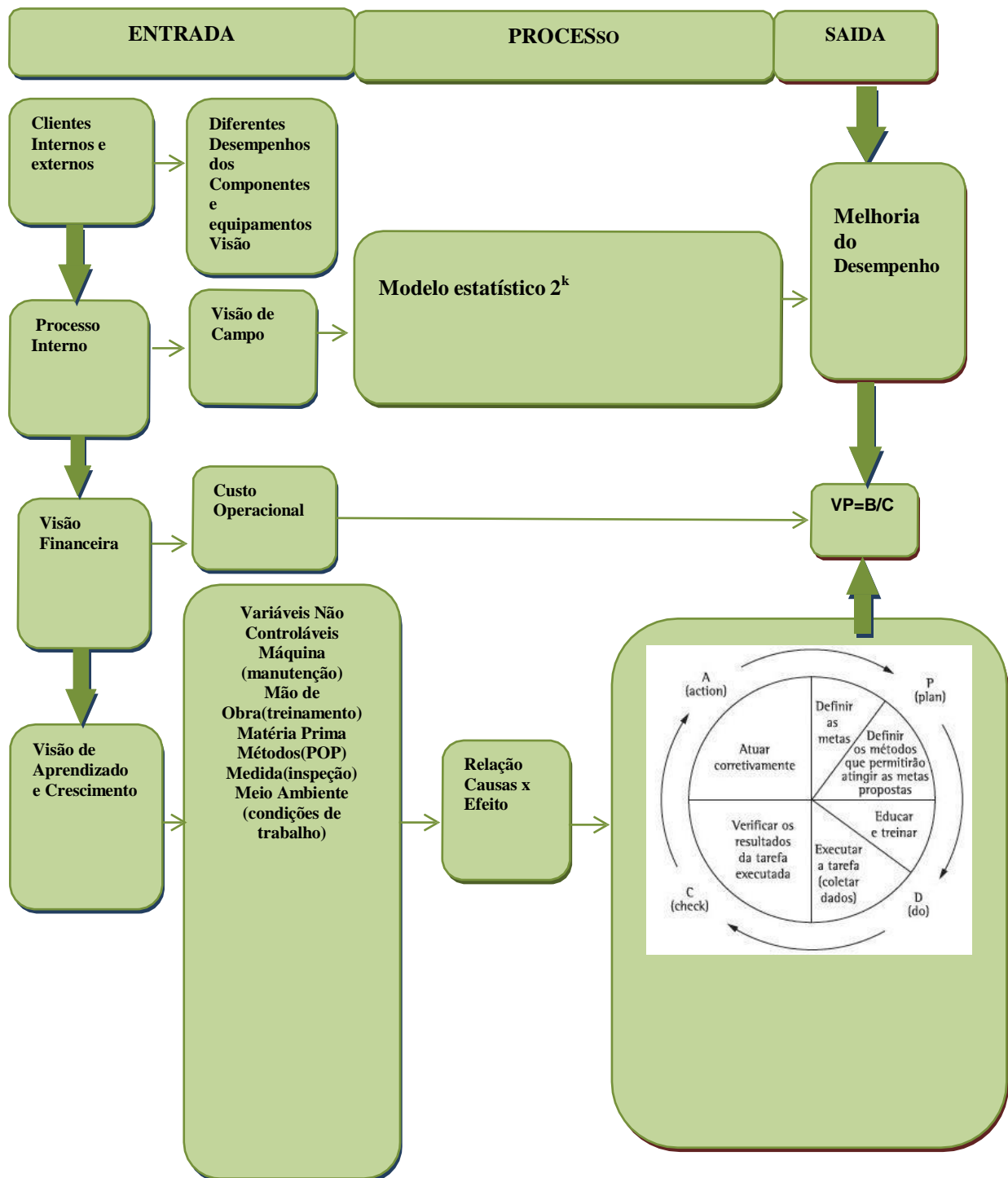


Figura 4.1: Diagrama da Metodologia BSCEQ aplicado ao processo de sondagem mineral.

O BSCEQ, figura 4.1, analisa as perspectivas dos processos internos, clientes internos e externos, visão financeira, aprendizado e crescimento do sistema produtivo, para que as variáveis controláveis possam ser selecionadas. Isto implica que a partir das perspectivas serão coletados dados que se traduzirão em variáveis controláveis X e ruídos ou variáveis não controláveis Z. As entradas, que são a perspectiva da empresa e a perspectiva de clientes externos ou internos revelam a necessidade de mudança ou melhoria, do ponto de vista estratégico, que no caso da área do estudo revelou diversas opções quanto as formulações das coroas. As coroas são produzidas com desempenhos diferentes em campo. A perspectiva de processos internos parte de dados oriundos do campo, estes dados estão relacionados ao desempenho das coroas e materiais. Os técnicos de campo apontaram algumas coroas com melhor desempenho em campo, códigos: 3,5,7,10. Com esta informação foi possível analisar os materiais das respectivas coroas e assim considera-los como variáveis controláveis para o Planejamento do Experimento. O desempenho esperado (Y) foi baseado no ensaio de desgaste das coroas de códigos 3,5,7,10, tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Diâmetros das calotas impressas nas amostras

CÓDIGO	DIÂMETRO MÉDIO (µm)	TAMANHO DE GRÃO	COMPOSIÇÃO(CO,CU,Fe)
7	619,4	W(5-7 µm)	0,2%Fe (não possui Co e Cu)
10	730,2	W(2,2-4,4µm)	25%Co, 15%Fe, 60%Cu
5	754,7	W(2,2-4,4µm)	0,2%Fe(não possui Co e Cu)
3	801,2	W(2,2-4,4µm)	0,2%Fe(não possui Co e Cu)

Para completar a aplicação da metodologia, foram consideradas as perspectivas financeiras com foco em redução de custo de produção e de processo de sondagem e aumento da produtividade. Esta perspectiva também pode se traduzir em ruído, ou seja, variável não controlável. A perspectiva de aprendizado e crescimento, também foi considerada como variável não controlável, uma vez que está relacionada à causa e efeito. A causa está todo tempo potencialmente relacionada ao método (procedimentos operacionais relacionados ao uso da matriz em campo - padronizados), máquina (manutenções preventivas, preditivas e corretivas), mão de obra (treinamento e capacitação dos

colaboradores), matéria prima (qualidade da matéria prima e componentes), medida (medições para avaliar a má qualidade no uso das matrizes em campo e nos padrões de produção das mesmas) e meio ambiente (avaliação do ambiente de trabalho). As pessoas precisam ser capacitadas para gerir os recursos disponíveis e assim reduzir a variabilidade. Do ponto de vista do planejamento do experimentos são consideradas variáveis ou fatores não controláveis, que podem influenciar na performance do componente e do processo, conseqüentemente. O elemento saída previsto na metodologia, é caracterizado por dois resultados: a combinação dos materiais, que gera o produto final (conforme expectativa da empresa) e a adoção do modelo gerencial PDCA para melhoria contínua.. O processo ilustrado no diagrama da metodologia, sugere a utilização do experimento 2^k definido por um modelo estatístico capaz de gerar várias combinações dos fatores controláveis envolvidos no experimento, com o resultado de desempenho esperado pela empresa.

Para a validação, o enfoque foi em uma peça que atendesse às expectativas do negócio e à litologia. O solo possui características fraturável, friável e compacto. O solo fraturável é caracterizado por fragmentos com diferentes diâmetros, o solo friável é identificado por ser fino e solto, enquanto o solo compacto tem característica rochosa. A proposta da metodologia é definir parâmetros de materiais que, combinados, na produção da coroa, equilibrem a perda. Os materiais e faixas granulométricas utilizadas, na empresa, para confecção das fases dispersas metálicas são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Composição e faixa granulométrica dos pós que compõem as fases dispersas metálicas

Código	Nome comercial	Composição química (%)	Granulometria (micrometros)
3	HM+NEXT-300	99,50% W+0,15% C(máx)+ 0,15% O2 (máx)+0,20% Fe(máx) NEXT-300: 25%Co 72% Fe, 3%Cu	HM: 2,2 a 4,4 NEXT-300: 0,9 a 3,5
5	HM	99,50% W+0,15% C(máx)+ 0,15% O2 (máx)+0,20% Fe(máx)	2,2 a 4,4
6	HM+Mo	99,50% W+0,15% C(máx)+ 0,15% O2 (máx)+0,20 %Fe(máx)	HM: 2,2 a 4,4
6+	M1+SiC	99,50% W+0,15% C(máx)+ 0,15% O2 (máx)+0,20% Fe(máx)	M1: 5 a 7 SiC: 38 a 60
7	M1	99,50% W+0,15% C(máx)+ 0,15% O2 (máx)+0,20% Fe(máx)	M1: 5 a 7
7+	HM+ SiC	99,50% W+0,15% C(máx)+ 0,15% O2 (máx)+0,20% Fe(máx)+ SiC	HM: 2,2 a 4,4 SiC: 38 a 60
8	C1+M1	99,50% W+0,15% C(máx)+ 0,15% O2 (máx)+0,20% Fe(máx)	C1: 14 a 17 M1: 5 a 7
9	C1	99,50% W+0,15% C(máx)+ 0,15% O2	C1: 14 a 17

10	HM+ NEXT200	(máx)+0,20 Fe(máx) 99,50% W+0,15% C(máx)+ 0,15% O ₂ (máx)+0,20% Fe(máx) NEXT-200: 25% Co 15% Fe, 60% Cu	HM: 2,2 a 4,4
11	HM+NEXT- 200+SiC	99,50% W+0,15% C(máx)+ 0,15% O ₂ (máx)+0,20% Fe(máx) NEXT-100: 25% Co 25% Fe, 50% Cu	HM: 2,2 a 4,4

Nesta etapa foi realizada pesquisa sobre o estado da arte das propriedades dos materiais metálicos e compósitos.

Oliveira e Figueira (2006) pesquisaram a influência do teor de cobre e parâmetros de sinterização sobre a microestrutura e propriedades mecânicas do sistema Fe-Cu, com ou sem adição de carbeto de silício (SiC). Foram utilizados pós-comerciais e os pós foram caracterizados por meio do método BET, para verificação de volume, tamanho de poros, área da superfície e tamanho médio de partículas. As amostras foram submetidas a ensaios de desgaste por abrasão. Para o ensaio de desgaste foi utilizado um Abrasímetro. Os autores visualizaram uma tendência de similaridade dos valores de perda de massa para ambas as temperaturas de sinterização. Indica, segundo eles, que o teor de cobre não influencia de forma marcante a resistência à abrasão de tal sistema. Quando analisaram o sistema Fe-Cu-1% SiC observaram que há uma diferença marcante nos valores obtidos. Nas duas temperaturas de sinterização (1050°C e 1150°C), há uma perda de massa um pouco mais acentuada no teor de 20% em peso de cobre o que pode ter ocorrido por maiores inchaços - comportamento clássico do sistema Fe-Cu onde o aditivo é extremamente mais solúvel no metal base do que o recíproco (OLIVEIRA E FIGUEIRA, 2006). Os autores discutem que isso ocorre para as amostras com maiores teores de cobre levando assim a maior porosidade – o que reduz a resistência ao desgaste por abrasão da liga. Observa-se, portanto, uma resistência à abrasão superior para o sistema Fe-Cu.

Finalmente, para concluir a validação, a composição química de cada uma das coroas de códigos 3,5,7, 10 e a perda de material após ensaio de desgaste(y) foram utilizadas como variáveis controláveis e resposta, assim o experimento fatorial foi aplicado. Figura 4.2.

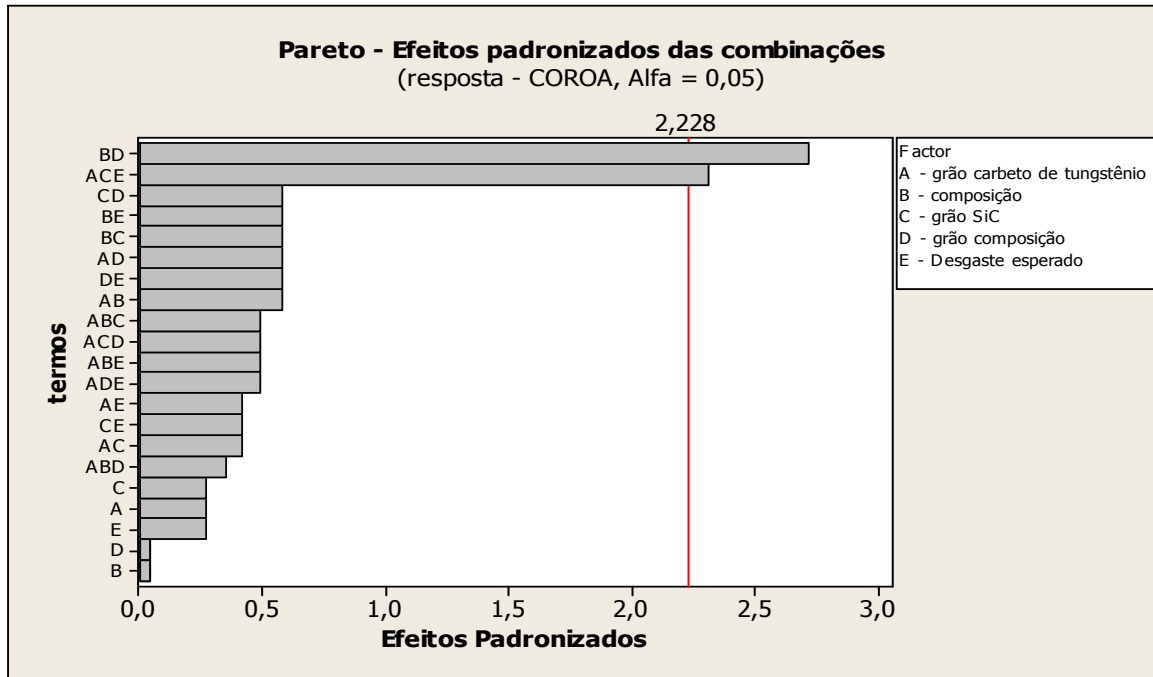


Figura 4.2 - Efeitos padronizados das combinações

Na figura 4.2 demonstra-se que a combinação de melhor significância está relacionada à adição do Fe, Cu, Co com granulometria entre 0,9 e 3,5 μ m, em relação ao desgaste abrasivo, combinados também com carboneto de tungstênio(5-7 μ m) e o carboneto de silício(38-60 μ m).

A figura 4.3 apresenta a probabilidade existente entre os fatores controláveis(X), relativos ao tamanhos de grão e o desgaste(Y), analisado pelo microscópio optico.

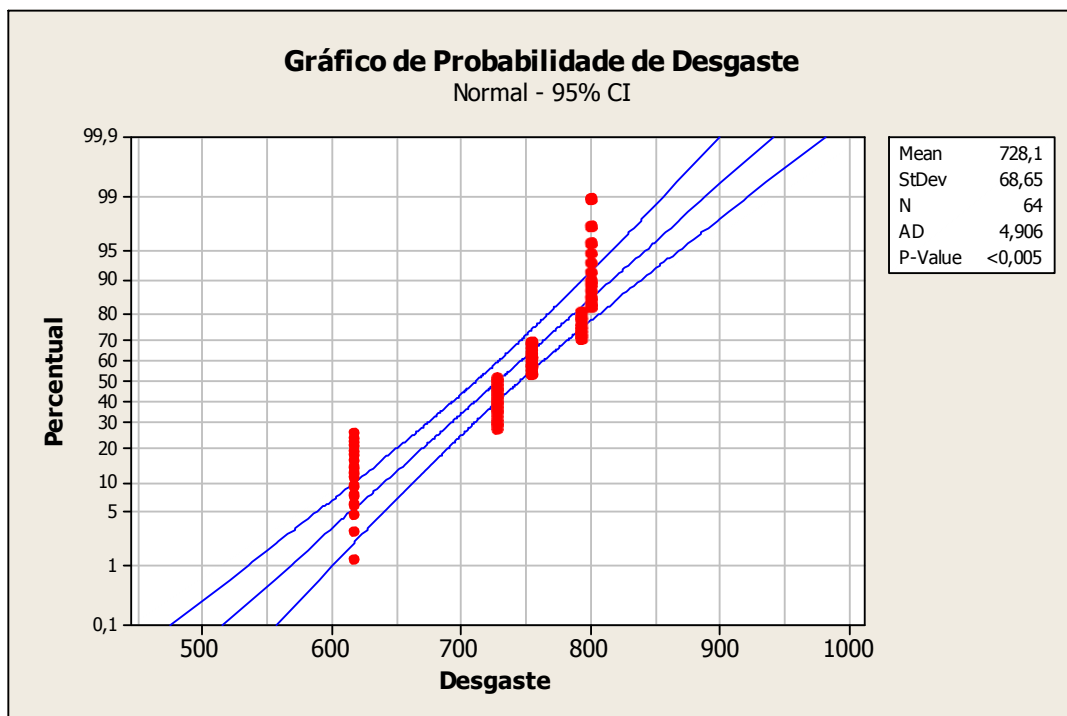


Figura 4.3: Probabilidade de interação entre variáveis

É importante ressaltar que as coroas com melhor probabilidade de adequação do desgaste em relação à litologia, são exatamente as que possuem os materiais: Fe entre 15%(granulometria 2,2 a 4,4 μ m) e 72%(granulometria 0,9 a 3,5 μ m), Cu 3% (granulometria 0,9 a 3,5 μ m), Cu 60% (granulometria 2,2 a 4,4 μ m) e Co 25%, carboneto de tungstênio em 99,5%.

Embasado pela análise fatorial foi desenvolvido um protótipo para ser submetido a ensaio de desgaste e que possibilitasse validar o que a metodologia demonstrou. O primeiro passo foi fazer um molde cilíndrico de grafite, como ilustra a figura 4.4.



Figura 4.4 – Molde cilíndrico de grafite

No segundo foi definido quantidades de cada elemento conforme tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Composição do protótipo

Descrição	Quantidade(%)
Fe, Cu, Co(0,9-3,5 μm)	10%
Carboneto de silício (38-60 μm)	5%
Carboneto de tungstênio(5-7 μm)	85%

A tabela 4.3 apresenta a composição definida para o protótipo, conforme resultado da análise DOE. Foi produzido um protótipo para ser submetido ao ensaio de desgaste e assim analisar e avaliar a calota impressa.

Realizou-se a mistura manual até chegar a uma solução homogênea do pó. O terceiro passo foi a colocação do pó no molde, prensá-lo e, logo, inserir o pó de cobertura composto por tungstênio quimicamente puro. Para finalizar, foi colocado elemento soldante com objetivo de criar a estrutura do material, como demonstra a figura 4.5 e 4.6.



Figura 4.5 – Preparação do protótipo – colocação do soldante

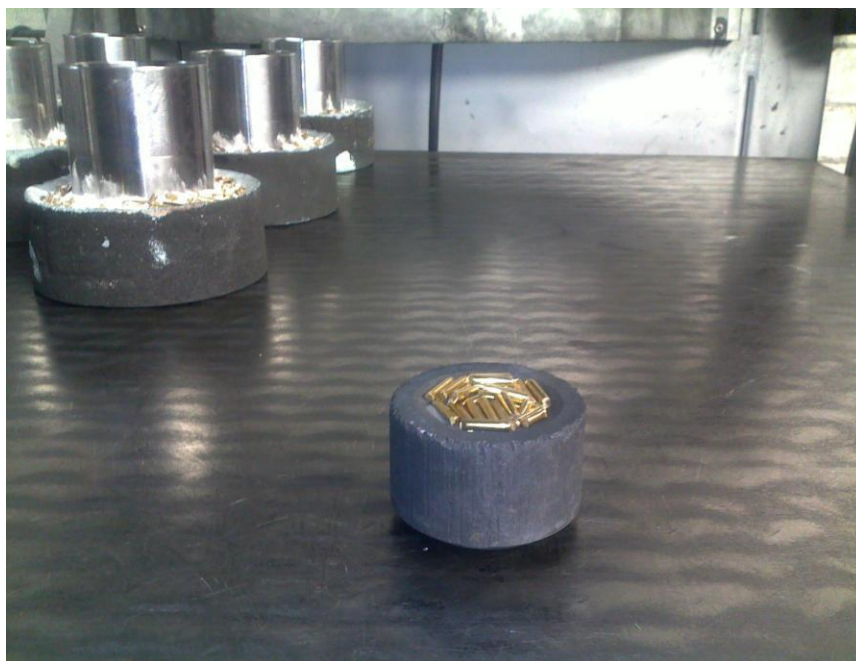


Figura 4.6 – Preparação do protótipo – colocação do soldante

O protótipo foi prensado e levado ao forno com temperatura inicial de $t_1 = 900^\circ\text{C}$. Após 20 minutos o forno estabiliza a uma temperatura de 1150°C - e permanece mais 20 minutos, que caracteriza o final do processo de Brasagem. Obteve-se assim o resultado demonstrado na figura 4.7.



Figura 4.7 – Amostra retirada do forno após processo de Brasagem

O produto é retirado do forno e colocado para ser resfriado em temperatura ambiente por aproximadamente 40 minutos. O protótipo foi retirado do molde e levado para o laboratório onde foi realizado polimento. Ao final, a amostra seguiu para novo ensaio de desgaste utilizando a suspensão de sílica como abrasivo.

Antes de iniciar o ensaio de desgaste do protótipo foi realizada a caracterização do abrasivo. A figura 4.9 apresenta o resultado da microscopia óptica realizada para verificação dos tamanhos e formatos dos grãos SiO_2 . Foi utilizado o microscópio óptico LEIKA D 4500P, figura 4.10.

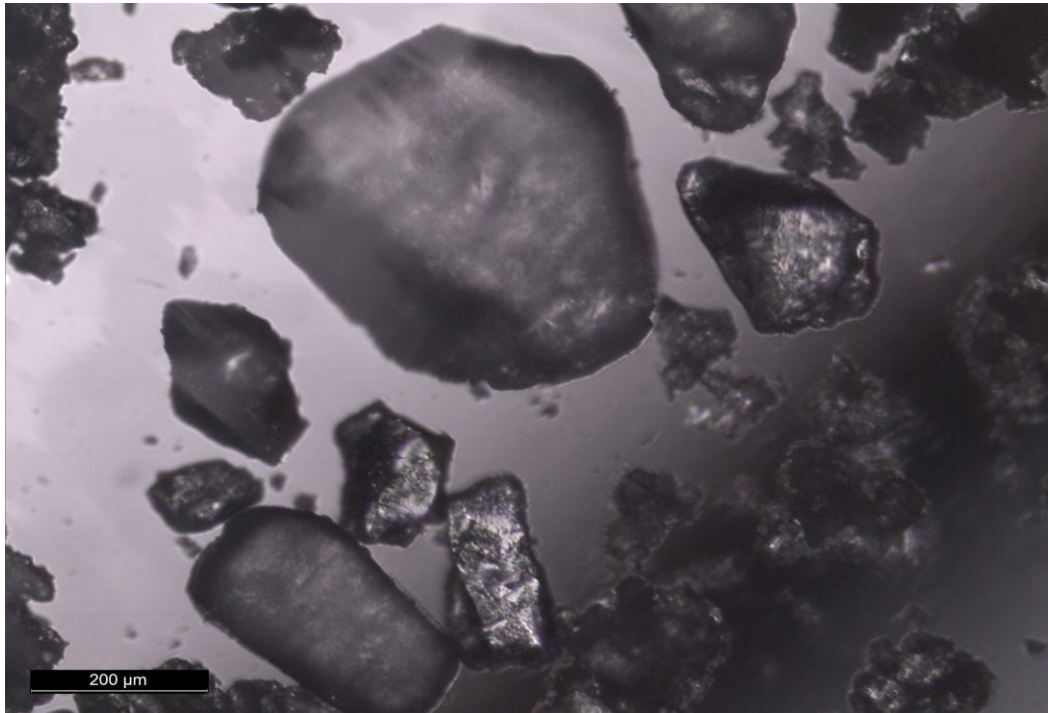


Figura 4.9 – Dimensões e formato de grãos de sílica



Figura 4.10.– Microscópio LEIKA D 4500 P

Por meio desta análise foi possível medir o tamanho dos grãos de sílica da suspensão abrasiva. Como os grãos possuíam tamanhos irregulares, foi realizada análise estatística, especificamente a estatística descritiva, para verificar a média dos dados, figura 4.11.

Os dados foram inseridos no software Minitab para análise estatística. Foi possível chegar à média e desvio padrão dos valores, conforme ilustrado na figura 4.11.

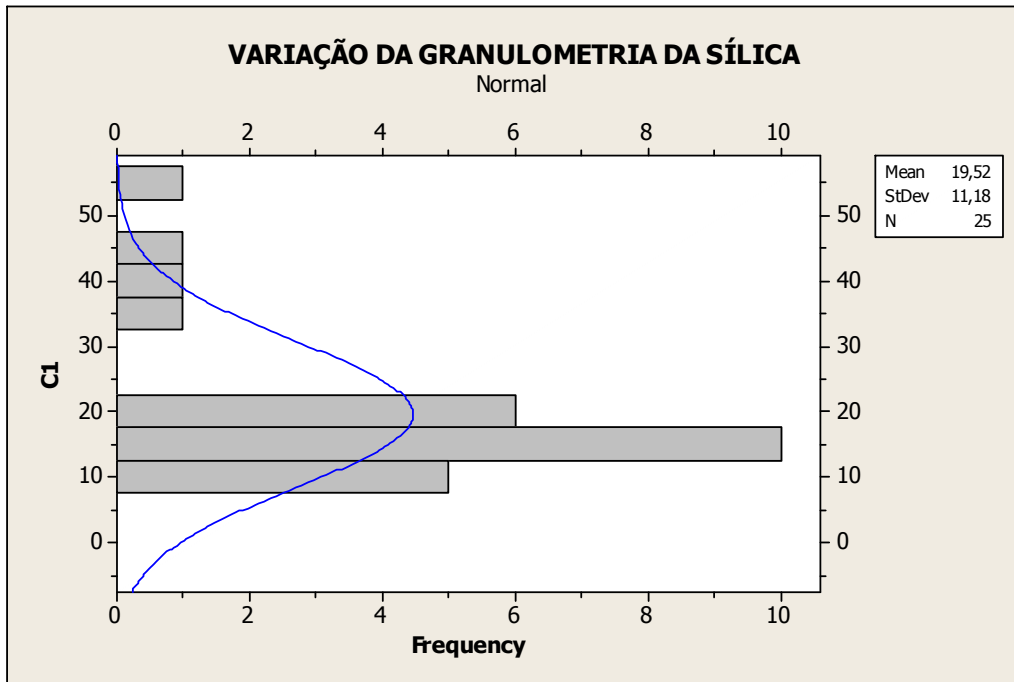


Figura 4.11. – Histograma da distribuição da granulometria da sílica (suspensão abrasiva)

Na figura 4.11 é possível visualizar a distribuição das medidas dos grãos da sílica do abrasivo. A média dos tamanhos de grãos da sílica é $19,52\mu\text{m}$ com 88,82% de confiança, considerando um universo de 25 grãos visualizados.

A técnica BET (sigla oriunda do nome de seus inventores Brunauer, Emmett e Teller) também foi utilizada para caracterização do abrasivo (SiO_2), tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Análise BET da sílica

	Densidade	Superfície	Volume de	Área de	Constante	Tamanho médio	Volume Total
Nome da Amostra		Específica BET	Microporos	Microporos	C	dos Microporos	de Poros
	(g/cm^3)	(m^2/g)	(cm^3/g)	(m^2/g)	(faixa ideal de valores: $50 < C < 200$)	(nm)	(cm^3/g)
SiO2	2,657	81,280	0,03500	99,090	72,06	5,068	0,06805

Segundo Penna *et al* 2008, o método de adsorção de nitrogênio utilizando a técnica BET é largamente utilizado para caracterização de porosidade e superfícies específicas de materiais porosos.

Em seguida foram definidos os parâmetros para o ensaio de desgaste abrasivo utilizando a SiO₂. Os parâmetros para o ensaio no protótipo desenvolvido foram os mesmos do primeiro ensaio em 10 amostras das coroas utilizadas em campo. (SOUZA, 2011). Com estes parâmetros era possível aproximar significativamente das condições de campo.

Após ensaio o protótipo foi polido e submetido à microscopia óptica no laboratório de física do ICEB-UFOP. O microscópio LEIKA D 4500P era o mesmo utilizado na análise realizada anteriormente em pesquisa de mestrado (SOUZA, 2011). Foi medido o diâmetro da calota impressa, formada pela perda de material, conforme figura 4.12, possibilitando verificar que a calota impressa possui medida de 441,7 µm.

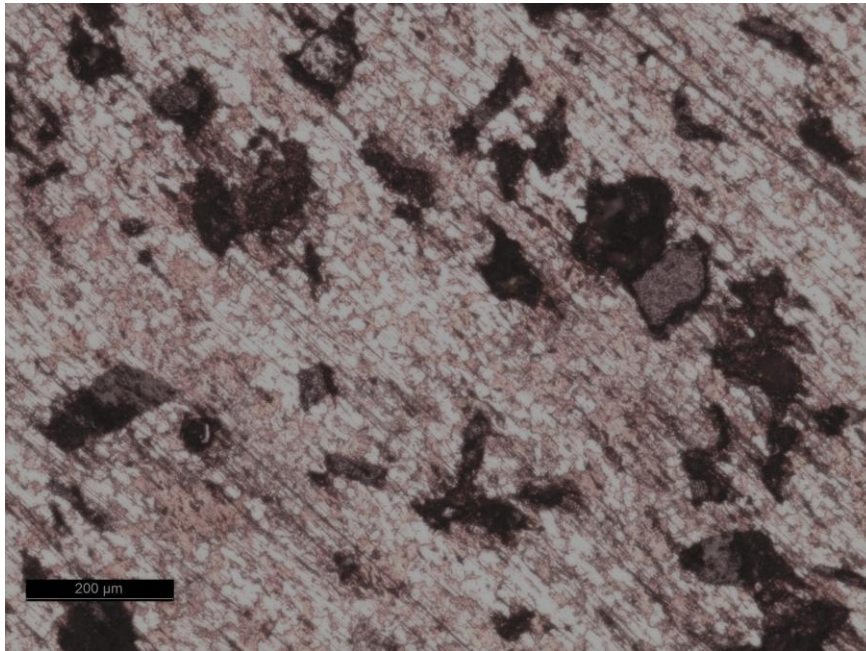


Figura 4.12 – Calota impressa no protótipo Z1

A calota Z1, nomenclatura utilizada para análise, impressa no protótipo, apresentou diâmetro de 441,732 µm. A medida foi expressa pela análise com limitação de não possibilitar a visão das bordas da calota. Utilizando a medida (diâmetro das calotas impressas) foi realizada avaliação comparativa do desgaste do protótipo com o desgaste das coroas citadas pelos técnicos de campo: 3,5,7 e 10.

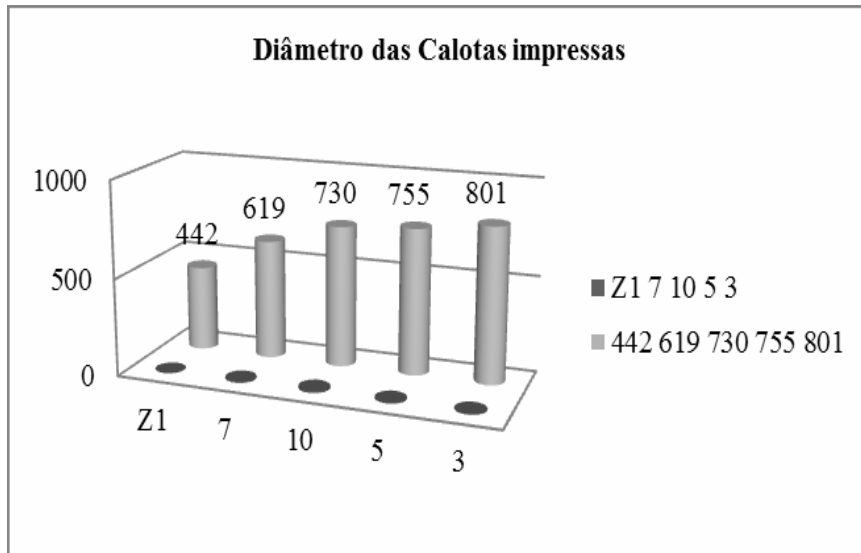


Figura 4.13: Análise comparativa entre o desgaste das amostras e o desgaste do protótipo

Para validar a análise comparativa entre o desgaste apresentado pelas matrizes das séries das coroas mais usadas para perfuração em campo e o desgaste do protótipo, foi necessário aplicar o modelo de Hutchings(1992) para cálculo dos raios da esfera e da calota impressa. Para calcular o coeficiente de desgaste utilizou-se o modelo de Archard. Para chegar ao coeficiente específico era necessário também possuir dados da dureza. Assim foi necessário fazer ensaio de macrodureza Vickers. O ensaio foi realizado com os parâmetros 40 Kg e 20-40 segundos.



Figura 4.14 – Durômetro utilizado para a realização dos ensaios de macrodureza – Lab. Ensaios Mecânicos DEMET/EM/UFOP.



Figura 4.15 – Durômetro utilizado para a realização dos ensaios de macrodureza – Lab. Ensaios Mecânicos DEMET/EM/UFOP.

Foram realizados quatro ensaios válidos. Foi possível chegar aos dados expressos na tabela 4.5. Para a discussão foi realizado o cálculo da média dos dados.

Tabela 4.5 – Dados do Ensaio de macrodureza VICKERS

Diâmetro do Protótipo(mm)	HV
0,80	116,0
0,64	181,0
0,73	139,0
0,74	134,0
0,727	142,50

A Tabela 4.6 apresenta o resultado da aplicação da equação de ARCHARD para validar o experimento por meio do cálculo do coeficiente de desgaste.

Tabela 4.6 - Coeficiente de desgaste das coroas

D.Médio	R= raio esf.	r= raio cal.	r ²	r ³	R ²	R ³		volume (mm ³)	Série	Força normal (N)	Dureza	K(adimensional)	k(mm ³ /N.m)
442	8,75	0,221	0,048841	0,0107939	76,5625	669,92188	8,7472086	8,95E-01	Z1	5,612	142,5	1,59E-01	1,12E-03
801	8,75	0,4005	0,1604003	0,0642403	76,5625	669,92188	8,7408295	2,94E+00	3	5,612	239,17	5,24E-01	2,19E-03
755	8,75	0,3775	0,1425063	0,0537961	76,5625	669,92188	8,741853	2,61E+00	5	5,612	247,17	4,65E-01	1,88E-03
619	8,75	0,3095	0,0957903	0,0296471	76,5625	669,92188	8,7445246	1,76E+00	7	5,612	240,83	3,13E-01	1,30E-03
730	8,75	0,365	0,133225	0,0486271	76,5625	669,92188	8,7423838	2,44E+00	10	5,612	218,67	4,35E-01	1,99E-03

Tornou-se possível, então, comparar o coeficiente dimensional de desgaste entre o protótipo e as coroas já utilizadas em campo. O coeficiente dimensional da calota gerada no protótipo Z1 foi $1,12 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$, o que significa que o desgaste é significativamente menor em relação ao desgaste das amostras de campo. Revela, portanto, que a seleção de material realizada a partir da aplicação da metodologia BSCEQ foi eficiente e eficaz para melhoria da resistência ao desgaste da coroa. Confirma também que para o processo a combinação W, Fe, Cu, Co e SiC pode gerar um componente de alto desempenho em campo.

No próximo capítulo apresenta as conclusões e recomendações extraídas da pesquisa.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

Este estudo demonstra que a otimização do desgaste das coroas de perfuração pode ser realizada por meio da utilização da metodologia *Balanced Scorecard* de Engenharia da Qualidade-BSCEQ, que contribui para apresentar uma análise estatística capaz de combinar os materiais função de um resultado desejado. Assim, a redução de custo operacional pode ser percebida quando ocorre redução de tempo gasto em tentativas e erros, pelas sucessivas trocas de matrizes. O planejamento bem realizado gera mais segurança na seleção de materiais no que tange a produção de matrizes com maior eficiência operacional. No caso do processo de sondagem, é possível ocorrer aumento da vida útil das coroas e aumento da produtividade, por redução de paradas para trocas,

durante o processo de sondagem. É necessário que se estabeleça parâmetros padronizados de sondagem conforme a litologia.

Nesse sentido a questão problema do estudo: **“Como a associação Gestão, Engenharia de materiais e Tribologia pode contribuir para otimizar o desempenho das matrizes de perfuração mineral em campo?”** foi respondida, quando aplicada a metodologia BSCEQ e desenvolvido o protótipo utilizando como base a análise estatística que considerava os parâmetros utilizados em campo e a visão dos técnicos. Por meio da aplicação do modelo de ARCHARD foi possível validar, ou seja, comparar o coeficiente dimensional de desgaste das amostras em relação ao protótipo (Z1) desenvolvido. Cabe ressaltar que na aplicação, primeiramente, considera-se a análise das perspectivas da indústria que é, portanto, orientação para análise do desempenho: Visão dos clientes internos e externos, Processos internos, Financeiro, Aprendizado e Crescimento.

A metodologia gera uma visão sistêmica e assim facilita a análise das necessidades organizacionais. O BSCEQ possibilita, como mostrado, resultados importantes do ponto de vista da melhor combinação entre as variáveis e a possibilidade de se alterar as variáveis controláveis para se chegar ao resultado desejado. Isso ocorre antes da análise relativa à estrutura do material. Apenas com o conhecimento tácito dos técnicos foram coletados dados para análise estatística. É claro que, se combinados estrutura, propriedade, processo e desempenho, conforme afirma Callister (2006), a confiabilidade da metodologia tende a aumentar. Mas, considera-se a partir deste estudo, que é possível aplicar o método e alcançar bons resultados utilizando as informações e estudos de campo.

Neste sentido, foi possível observar que o alinhamento da gestão estratégica com a ciência e engenharia de materiais e tribologia pode gerar benefícios para os gestores de processos e para a academia. A Gestão estratégica quando utiliza a metodologia BSCEQ de engenharia da qualidade apresenta resultados surpreendentes no sentido de levantar informações que logo depois aprofundadas se transformam em dados para o planejamento de experimentos. Assim os ensaios de engenharia de materiais e tribológicos tornam-se pontuais, por ser possível identificar as variáveis e realizar o planejamento de experimentos para combina-las antes do ensaio. O ensaio poderá ser mais eficiente na utilização do tempo e eficaz em função dos resultados alcançados.

Portanto, os objetivos específicos do estudo foram cumpridos, conforme mostra a tabela 5.1.1.

Tabela 5.1.1 – Objetivos Específicos

Realizar revisão da literatura sobre Ciência e Engenharia de Materiais, Seleção de Materiais, Projeto e Desenvolvimento de Produtos, Tribologia (Desgaste abrasivo), Engenharia da Qualidade, DOE, Planejamento de experimentos, modelo BSC desenvolvido pela <i>Harvard Business School</i> para Gestão Estratégica.	Pág. 24 -71
Desenvolvimento da Metodologia BSCEQ	Pág. 58-61
<p>Aplicação e validação da Metodologia em indústria de sondagem:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Definir as variáveis controláveis ➤ Analisar variáveis controláveis no software Minitab – na técnica DOE ➤ Identificar a melhor combinação de variáveis ➤ Desenvolver protótipo ➤ Realizar ensaio de desgaste ➤ Realizar ensaio de dureza Vickers ➤ Fazer análise no microscópio óptico ➤ Análise comparativa do desgaste do protótipo em relação ao desgaste das coroas já utilizadas em campo 	Pág.62-75

5.2 RECOMENDAÇÕES

- Aplicar a metodologia BSCEQ, no processo de sondagem utilizando as variáveis pressão e rotação da haste.

6 CONTRIBUIÇÕES PARA O CONHECIMENTO

No início deste estudo percebeu-se um grande desafio: associar a gestão estratégica e a engenharia da qualidade com a ciência e engenharia de materiais. Foi difícil chegar a uma metodologia que contribuísse com os trabalhos realizados em laboratório. Após muitas pesquisas de campo e parcerias com os mestrandos de Engenharia de Materiais chegou-se a uma metodologia capaz de aproximar gestão, ciência e engenharia de materiais e principalmente tribologia. A orientação estava em melhorar continuamente os sistemas produtivos e processos. Portanto, o foco está na melhoria do desempenho dos materiais e conseqüentemente do processo.

7 RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS

A metodologia proposta poderá contribuir para as organizações na melhoria da qualidade dos processos de seleção de materiais por meio de um planejamento, utilizando como base as quatro perspectivas do *Balanced Scorecard*. Considera-se relevante por ter como pré-requisito a análise das perspectivas *scorecard* e com as informações gerar a coleta dos dados. Se bem aplicada pode gerar uma significativa redução de tempo de análise de desempenho e de custo operacional. Poderá, também, gerar aumento da vida útil de componentes garantindo a função da qualidade de componentes por meio de medidas tangíveis e mensuráveis que asseguram a qualidade do produto e do processo.

No mercado, isso se reflete em *market share*, pois as organizações que possuem maior controle da qualidade podem aumentar sua participação de mercado.

Para a academia é um modelo que destaca a importância de pesquisas voltadas para a interface da gestão, engenharia da qualidade e a ciência e engenharia de materiais, mais especificamente a seleção de materiais. A tribologia, especificamente, poderá utilizar o BSCEQ para gerar análises estatísticas e contribuir para reduzir o risco de insucesso do ensaio.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, J.A.V. Modelo de Monitorização e Acompanhamento da Avaliação Ambiental Estratégica através do *Balanced Scorecard*. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental, Lisboa, 2009. <http://run.unl.pt>. Acessado em outubro de 2010.
- ANDRADE, F. F., MELHADO, S. B. O Método de Melhoria PDCA; Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP; São Paulo; 2003.
- ASHBY, M; SHERCLIFF, H; CEBON, D. Materials Engineering, Science, Processing and Design, UK, London: Elsevier, 2007.
- ASHBY, M.F. Materials Selection in Mechanical Design: New York, Pergamom Press, 1992.
- ASKELAND, D. R. Ciência e Engenharia de Los Materiales, 3º Edição, Thomson, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e Documentação: Referências e Elaboração. Rio de Janeiro, 2002
- BAXTER, M. Projeto de Produto: Guia Prático para o Desenvolvimento de Novos Produtos. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1998. 261p.
- BERETTA, F. S., COSTA, J. F. C. L., KOPPE, J. C. Redução da Variabilidade da qualidade do carvão com otimização do tamanho de pilhas e homogeneização. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, 2011.
- BERLITZ, F.A., HAUSSEN, M, L.; Seis Sigma no Laboratório Clínico: Impacto na Gestão de Performance Analítica dos Processos Técnicos; J Bras Patol Med Lab • v. 41 • n. 5 • p. 301-12 • outubro 2005.
- BIEKER, T., GMINDER, C. "Towards a sustainability Balanced Scorecard." Paper presented at *Oikos PhD Summer Academy 2001: Environmental Management & Policy and Related Aspects of Sustainability*. 2001.
- BOTELHO, R. D. Éco-Design e Seleção de Materiais como Ferramentas para "Transportation Design" – Estudo de Processos.
- CALADO, V. MONTGOMERY, D. Planejamento de Experimentos usando Estatística. Edição Epapers, Rio de Janeiro, 2003.
- CALLISTER JUNIOR, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 2ª. ed. rev. São Paulo: Pini, 1991.
- CALLISTER JR, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução; Sétima Edição; LTC, Rio de Janeiro, 2008

- CAMPOS, Vicente Falconi. TQC: Controle de Qualidade Total (no estilo japonês). Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni: UFMG,1992.
- CAMPOS, V. F. TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês), 4.^a edição. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, (Rio de Janeiro: Bloch Editores S.A., 1994.
- CARVALHO, M. M.; HO, L. L.; PINTO, S. H. B. Implementação e difusão do programa Seis Sigma no Brasil. Produção, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 486-501, set/dez., 2007.
- CHARLES, J. A., CRANE F. A. A., "Selection and Use of Engineering Materials". 2º ed. Butterworth, 1989.
- COUTINHO, A. R.; KALLÁS, D. Gestão estratégica: experiências e lições de empresas brasileiras. 2ª. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.
- CRANE, F. A. A. Selection and use of engineering Materials. 2ª edição; British Library; 1987.
- CRUZ, D. C. Desgaste por abrasão de poliuretano utilizado na indústria minero-metalúrgica; Dissertação de Mestrado, REDEMAT. Ouro Preto, 2006.
- DEMING, W. E. Qualidade: a revolução da administração. Rio de Janeiro: Marques Saraiva,1990.
- DIETER, G. F. ASM Handbook: Materials Selection and Design; ASM International Handbook, volume 20, 2001.
- FERRANTE, M. Seleção dos materiais de construção mecânica: Estratégias e Metodologias básicas. Simpósio Matéria; Rio de Janeiro, 2000.
- FERREIRA, C. R. **Produção de Coroas por Indução Eletromagnética**: Tese de Doutorado em Engenharia de Materiais, REDEMAT, UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais, 2010.
- FERREIRA, S. L., CRUZ, R. S.; BIODIESEL: PARÂMETROS DE QUALIDADE E MÉTODOS ANALÍTICOS; Quim. Nova, Vol. 32, No. 6, 1596-1608, 2009.
- FERREIRA, M.A., VICENTIN, D., HOE, C.G.S.H: GESTÃO DO *BALANCED SCORECARD* - DIFICULDADES E SUAS CAUSAS; Disponível em: <http://www.ead.fea.usp.br>; Acessado em setembro de 2011.
- FISHER, G.; KIRCHNER, A.; KAUFMANN, H.; SCHMID, D. Gestão da Qualidade: Segurança do Trabalho e Gestão Ambiental. 2ª edição; Blucher, 2009
- GARVIN, D. A. *Competing on the eight dimensions of quality. Harvard Business Review. nov – dec. 1987*
- GATES, J. D. "Two-body and three-body abrasion: A critical discussion", Wear, Vol. 214, pp. 139-146, 1998.
- GUELBERT, T. F. Proposta de modelo de desenvolvimento socioambiental para municípios de pequeno porte a partir do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos (GIRSU's).

2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- HUTCHINGS, I.M. *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*; 1ª Edição, Londres, 1992.
- ISHIKAWA, K. *Controle de Qualidade Total à maneira Japonesa*; Rio de Janeiro; Campus, 1993.
- ISO (*Internacional Organization for Standardization*). Disponível em <www.iso.org>. Acessado em 20 de janeiro de 2010.
- JESUS FILHO, E.S. *Processamento, Usinagem e Desgaste de Ligas Sinterizadas para Aplicações Automotivas*. 2006; 162 Páginas. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear -Materiais) – São Paulo, USP, 2006.
- JURAN, J.M., GRZYNA, F.M. *Controle da Qualidade Handbook: componentes básicos da função qualidade*. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991. V.II.
- JURAN, J. M. A. *Qualidade desde o Projeto: Novos passos para o Planejamento da Qualidade em Produtos e Serviços*, Thomson, 1992.
- KAPLAN, R. S. e NORTON, D. P. *A Estratégia em Ação: Balanced Scorecard*. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- KRUSCHOV, M.M. Principles of abrasive wear, *Wear*, v.28, 1974, pp. 64-68.
- MARINHO, S. *Utilização do Conceito da Gestão Estratégica de Custos Dentro do Balanced Scorecard*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Brasil, 1999.
- MENEGAZ, L. A.; SCANDIAN, C., CAMARGO, S. M., BIASOLI, J. D. *Micro-abrasão de compósitos de matriz metálica a base de tungstênio empregado em coroas de perfuração utilizadas em sondagem mineral*; 8º Congresso Ibero Americano de Engenharia Mecânica, 2007.
- MONTGOMERY, D. C. *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade: 4ª Edição*, Rio de Janeiro, LTC, 2004.
- NETO, B. B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. *Planejamento e Otimização de Experimentos*, Ed. Unicamp: São Paulo, 1996.
- NUNES, R. A. X. *Abrasão, desgaste e atrito sob deslizamento de recobrimentos preparados por aspersão térmica a partir de PET pós-consumo*. Tese de Doutorado; REDEMAT, UFOP: Ouro Preto, Minas Gerais, 2008.
- OLIVEIRA, J. A; NADAE, J; OLIVEIRA O.J; SALGADO, M.H. *Um estudo sobre a utilização de sistemas, programas e ferramentas da qualidade em empresas do interior de São Paulo*. Prod. vol.21 no.4 São Paulo 2011 Epub, Sep 16, 2011.

- PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, Karl-Heinrich. Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. 6a edição, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 411p. 2005.
- PALADINI, E. P. *Qualidade Total na Prática. Implantação e Avaliação de Sistemas de Qualidade Total*. 2ª ed. São Paulo: Editora Atlas S.A. 1997.
- PARENTE, R.A. PINHEIRO, L.M.; Plásticos Reciclados para Elementos Estruturais. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 10, n. 47, p. 75-95, 2008.
- PEINADO, J.; GRAEML, A. R. Administração da Produção: Operações Industriais e de Serviços. Curitiba: Unicenp, 2007.
- PENNA, Eloisio Q. ET ALL: Caracterização dos Parâmetros de Porosidade Concentrados de Minérios de Ferro pelo Método de Adsorção de Nitrogênio; Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.4, n.4, p. 53-57, abr.-jun. 2008.
- PINTAÚDE, Giuseppe. *Análise dos regimes moderado e severo de desgaste abrasivo utilizando ensaios instrumentos de dureza*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3132/tde-07042010-111922/>. Acessado em: 27.11.2011.
- RAO, A.K. PRASADA, D.A.S. Karabi; MURTY, B.S; CHAKRABORTY, M. Effect Of Grain Refinement on wear properties of Al and Al-7Si alloy. Indian Institute of Technology kharagpur, India, 2003.
- SANTOS, S. N. Planejamento de Experimentos Aplicado à Linha de Próteses de Joelho; XIII SIMPEP, BAURU, São Paulo, 2006. Disponível em www.simpep.feb.unesp.br.
- SILVA, C. A.; FURTADO, J. G. M., Obtenção e Caracterização de Cerâmicas à Base de Cromitas e Lantânio: Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 6, n. 1, p. 48-53, jul.-set. 2009.
- SILVA, E. S. A. Um Sistema Informacional e Perceptivo de Seleção de Materiais com enfoque no design de calçados: Dissertação de Mestrado em Engenharia: UFRGS, Porto Alegre, 2005.
- SILVA JUNIOR, A. C. Oportunidades para compras verdes na Petróleo Brasileiro S.A. Dissertação de Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo. Universidade Federal da Bahia: Escola Politécnica, 2007.
- SILVA, H. A.; SILVA, M. B. Aplicação de um Projeto de Experimentos (DOE) na Soldagem de Tubos de Zircaloy-4: Revista Eletrônica de Produção & Engenharia. V.1, n.1. P.41-52. Set/Dez, 2008.

- SILVA, C.E.S., PAIVA, A. P., ALVES, L.B., ANDRADE, C.R.O.; Application of the design of experiments for product knowledge attainment: *The case of nourishing ovens for roasting of chickens: Revista Product: management & development*, volume 7, São Carlos, 2009.
- SOUZA, R. C., DEMÉTRIO, T.V. O Ciclo PDCA e DMAIC na Melhoria do Processo Produtivo no Setor de Fundição: um estudo de caso da empresa de Luma. Indústria e Comércio Ltda. disponível em: <http://engwhere.com.br>; Acessado em setembro de 2011.
- SOUZA, C.J. Desgaste abrasivo em Compósitos metal/cerâmicos: Estudo aplicado ao Desenvolvimento de Coroas de Perfuração. Dissertação de Mestrado do Programa da Rede Temática em Materiais, UFOP, 2011.
- TUTI, Y.; ASAD, A. K.; HAQUE, M.M. Tribological (WEAR) Properties Of Aluminun-Silicon Eutectic Basic Alloy Under Dry Sliding Condition: *Journal Of Materials Processing Technology* 153-154, 2004.
- VIEIRA, A. F. C.; EPPRECHT, E. K. Métodos de Identificação de Efeitos na Dispersão em Experimentos Fatoriais Não Replicados. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 99-110, jan.-mar. 2009. Disponível em: www.scielo.br. Acessado em janeiro de 2011.
- WAGNER, A; SPAREMBERGER, A; SAUSEN, J. O. ZAMBERLAN, L; BUTTENBENDER, P. L; MUSSKOPF, M. T. W. Alinhamento estratégico organizacional: impactos e inovações provocados pela utilização do *Balanced Scorecard* em uma indústria do ramo metal-mecânico; XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, 2007.
- WERKEMA, C. Criando a cultura seis sigma. Rio de Janeiro: QUALITYMARK, 2002.
- ZUM- GAHR, K.H. *Microstructure and wear of materials*, Elsevier Publ., N.Y. 1987.
- Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~cigar/>. Acessado em setembro de 2011.
- Disponível em <http://www.braskem.com.br>. Acessado em dezembro de 2010.

ANEXOS

ANEXO 1: Instrumento de Coleta de Dados – Pesquisa Qualitativa



REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP - CETEC - UEMG

Pos-Graduação em Engenharia de Materiais

INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS – ROTEIRO DE ENTREVISTA

Este instrumento foi elaborado com o objetivo de coletar dados para desenvolvimento de um modelo teórico que atenda aos requisitos para conclusão de tese intitulada:

MODELO DE BALANCED SCORECARD DE ENGENHARIA DA QUALIDADE APLICADO À SELEÇÃO DE MATERIAIS.

Orientador: Adilson Rodrigues da Costa

1. A área possui indicadores de desempenho para a seleção de materiais:

- a. SIM b. NÃO

2. Caso a resposta anterior seja positiva, responda:

- a. Quantitativo b. Qualitativo

3. Caso a resposta anterior seja positiva, marque a alternativa correspondente ao tempo que a área possui indicadores de desempenho.

- a. menos de 6 meses
 b. menos de 1 ano
 c. entre 1 e 3 anos
 d. entre 3 e 5 anos
 e. mais de 5 anos

4. Todos os componentes quando são cotados e/ou comprados seguem um indicador de desempenho especificado?

- a. SIM b. NÃO

5. Conhece o *Balanced Scorecard* *?

- a. SIM b. NÃO

**Balanced Scorecard*: Ferramenta utilizada na Gestão Estratégica desenvolvida por Robert Kaplan e David Norton na Harvard Business Review em 1992. Propõe traduzir os objetivos estratégicos em um conjunto de indicadores de desempenho.

6. Se fosse desenvolvido um modelo BSC para ser utilizado como indicador de desempenho, com enfoque no controle e garantia da qualidade para seleção de materiais, contribuiria com a melhoria contínua do setor de suprimentos e/ou para a melhoria da qualidade dos processos produtivos da empresa?

a. SIM b. NÃO

- Se a resposta da questão número 6 for letra A responda as próximas questões.

7. Existe um procedimento operacional padrão (POP) para aquisição de componentes e/ou sobresselentes?

a. SIM b. NÃO

8. Reconhece nas opções abaixo algum indicador estratégico utilizado na seleção dos materiais?

a. preço;
 b. prazo;
 c. histórico do fornecedor;
 d. Desenho de Experimento(DOE)
 e. Assistência Técnica;
 f. Especificação do cliente interno;
 g. Desgaste;
 h. Forma;
 i. Estudos de capacidade;
 j. Análise de Modos e efeitos de falha (FMEA);
 l. Indicadores quantitativos de qualidade do produto;
 m. Testes mecânicos, químicos, físicos;
 n. Certificações;
 o. Diagrama de causa e efeito;
 p. Diagrama de Pareto;
 q. Histograma
 r. Gráfico de Dispersão(Correlação)

9. Considerando o aprendizado e crescimento da área, quais as opções abaixo poderiam ser considerados para a garantia da qualidade dos processos?

a. Treinamento;
 b. Métodos padronizados;
 c. Conhecimento das variáveis de operação e manutenção;
 d. Avaliação de Desempenho.

ANEXO 2: Instrumento de Coleta de Dados – Pesquisa Qualitativa



REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP - CETEC - UEMG

Pós-Graduação em Engenharia de Materiais

INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS – ROTEIRO DE ENTREVISTA

Este instrumento foi elaborado com o objetivo de coletar dados para desenvolvimento de um modelo teórico que atenda aos requisitos para conclusão de tese intitulada:

MODELO DE BALANCED SCORECARD DE ENGENHARIA DA QUALIDADE APLICADO À SELEÇÃO DE MATERIAIS.

Orientador: Adilson Rodrigues da Costa

1. A área possui indicadores de desempenho para a seleção de materiais:
a. SIM b. NÃO

2. Caso a resposta anterior seja positiva, responda:
a. Quantitativo b. Qualitativo

3. Caso a resposta anterior seja positiva, marque a alternativa correspondente ao tempo que a área possui indicadores de desempenho.
 - a. menos de 6 meses
 - b. menos de 1 ano
 - c. entre 1 e 3 anos
 - d. entre 3 e 5 anos
 - e. mais de 5 anos

4. Todos os componentes quando são cotados e/ou comprados seguem um indicador de desempenho especificado?
a. SIM b. NÃO

5. Conhece o *Balanced Scorecard* *2
a. SIM b. NÃO

**Balanced Scorecard*: Ferramenta utilizada na Gestão Estratégica desenvolvida por Robert Kaplan e David Norton na Harvard Business Review em 1992. Propõe traduzir os objetivos estratégicos em um conjunto de indicadores de desempenho. Está embasado em quatro perspectivas conforme modelo abaixo.



6. Se fosse desenvolvido um modelo BSC para ser utilizado como indicador de desempenho, com enfoque no controle e garantia da qualidade para seleção de materiais, contribuiria com a melhoria contínua do setor de suprimentos e/ou para a melhoria da qualidade dos processos produtivos da empresa?

a. SIM b. NÃO

- Se a resposta da questão número 6 for letra A responda as próximas questões.

7. Existe um procedimento operacional padrão (POP) para aquisição de componentes e/ou subressalentes?

a. SIM b. NÃO

8. Reconhece nas opções abaixo algum indicador estratégico utilizado na seleção dos materiais?

- a. preço;
 b. prazo;
 c. histórico do fornecedor;
 d. Desenho de Experimento(DOE)
 e. Assistência Técnica;
 f. Especificação do cliente interno;
 g. Desgaste;
 h. Forma;
 i. Estudos de capacidade;
 j. Análise de Modos e efeitos de falha (FMEA);

- l. Indicadores quantitativos de qualidade do produto;
 - m. Testes mecânicos, químicos, físicos;
 - n. Certificações;
 - o. Diagrama de causa e efeito;
 - p. Diagrama de Pareto;
 - q. Histograma
 - r. Gráfico de Dispersão(Correlação)
9. Considerando o aprendizado e crescimento da área, quais as opções abaixo poderiam ser consideradas para a garantia da qualidade dos processos?
- a. Treinamento;
 - b. Métodos padronizados;
 - c. Conhecimento das variáveis de operação e manutenção;
 - d. Avaliação de Desempenho.

Obrigada pela contribuição!

Zirlene Alves da Silva Santos

Cel:9110-1873

Doutoranda em Engenharia de Materiais – REDEMAT/UFOP

Matrícula: D09.2.07007

ANEXO 3: Instrumento de Coleta de Dados – Pesquisa Qualitativa



REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP - CETEC - UFMG

Pós-Graduação em Engenharia de Materiais

INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS – ROTEIRO DA ENTREVISTA

Este instrumento foi elaborado com o objetivo de coleta de dados para desenvolvimento de um modelo teórico que atenda aos requisitos para conclusão de tese intitulada:

MODELO DE BALANCED SCORECARD DE QUALIDADE DA QUALIDADE APLICADO A SELEÇÃO DE MATERIAIS.

Orientador: Adilana Rodrigues da Costa

1. A área possui indicadores de desempenho para a seleção de materiais?
 - a. SIM
 - b. NÃO
2. Caso a resposta anterior seja positiva, responda:
 - a. Quantitativo
 - b. Qualitativo
3. Caso a resposta anterior seja positiva, marque a alternativa correspondente ao tempo que a área possui indicadores de desempenho:
 - a. menos de 5 meses
 - b. menor de 1 ano
 - c. entre 1 e 3 anos
 - d. entre 3 e 5 anos
 - e. mais de 5 anos
4. Todos os componentes quando são citados estão compreendidos segundo um indicador de desempenho especificado?
 - a. SIM
 - b. NÃO
5. Conhece o *Balanced Scorecard* *?
 - a. SIM
 - b. NÃO

**Balanced Scorecard*: Ferramenta utilizada na Gestão Estratégica desenvolvida por Robert Kaplan e David Norton na Harvard Business Review em 1992. Previsão traduzir os objetivos estratégicos em um conjunto de indicadores de desempenho.

6. Se fosse desenvolvido um modelo BSC para ser utilizado como indicador de desempenho, com enfoque no controle e garantia da qualidade para seleção de materiais, contribuiria com a melhoria contínua do setor de suprimentos e/ou para a melhoria da qualidade dos processos produtivos da empresa?

a. SIM b. NÃO

- Se a resposta da questão número 6 for letra A responda as próximas questões.

7. Existe um procedimento operacional padrão (POP) para aquisição de componentes e/ou sobressalentes?

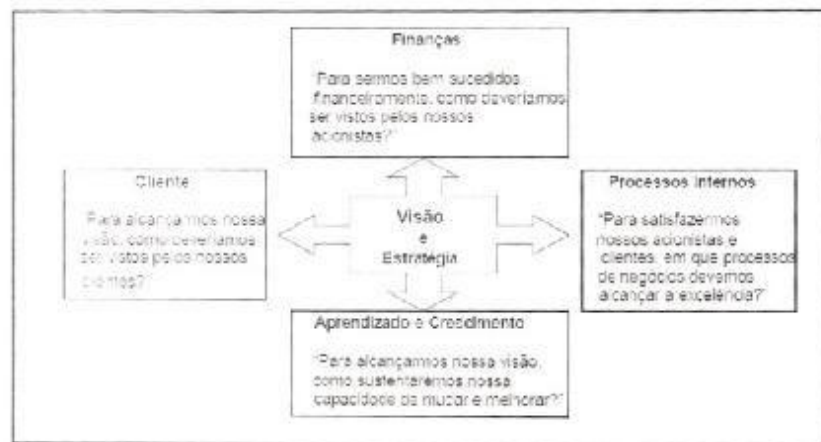
a. SIM b. NÃO

8. Reconhece nas opções abaixo algum indicador estratégico utilizado na seleção dos materiais?

a. preço;
b. prazo;
c. histórico do fornecedor;
d. Desenho de Experimento(DOE);
e. Assistência Técnica;
f. Especificação de cliente interno;
g. Desgaste;
h. Forma;
i. Estudos de capacidade;
j. Análise de Modos e efeitos de falha (FMEA);
l. Indicadores quantitativos de qualidade do produto;
m. Testes mecânicos, químicos, físicos;
n. Certificações;
o. Diagrama de causa e efeito;
p. Diagrama de Pareto;
q. Histograma;
r. Gráfico de Dispersão(Correlação)

9. Considerando o aprendizado e crescimento da área, quais as opções abaixo poderiam ser considerados para a garantia da qualidade dos processos?

a. Treinamento;
b. Métodos padronizados;
c. Conhecimento das variáveis de operação e manutenção;
d. Avaliação de Desempenho.



6. Se fosse desenvolvido um modelo BSC para ser utilizado como indicador de desempenho, com enfoque no controle e garantia da qualidade para seleção de materiais, contribuiria com a melhoria contínua do setor de suprimentos e/ou para a melhoria da qualidade dos processos produtivos da empresa?

a. SIM b. NÃO

- Se a resposta da questão número 6 for letra A responda as próximas questões.

7. Existe um procedimento operacional padrão (POP) para aquisição de componentes e/ou subressalentes?

a. SIM b. NÃO

8. Reconhece nas opções abaixo algum indicador estratégico utilizado na seleção dos materiais?

a. preço;
 b. prazo;
 c. histórico do fornecedor;
 d. Desenho de Experimento(DOE)
 e. Assistência Técnica;
 f. Especificação do cliente interno;
 g. Desgaste;
 h. Forma;
 i. Estudos de capacidade;
 j. Análise de Modos e efeitos de falha (FMEA);

ANEXO 4: Tabela 4.6 - Coeficiente de desgaste das coroas

D. Médio	R= raio esf.	r= raio cal.	r ²	r ³	R ²	R ³		volume (mm ³)	Série	Força normal (N)	Dureza	K(adimensional)	k mm ³ /N.m
442	8,75	0,221	0,048841	0,0107939	76,5625	669,92188	8,7472086	8,95E-01	Z1	5,612	142,5	1,59E-01	1,12E-03
801	8,75	0,23875	0,0570016	0,0136091	76,5625	669,92188	8,7467422	1,04E+00	3	5,612	239,17	1,86E-01	2,19E-03
755	8,75	0,21588	0,046602	0,0100602	76,5625	669,92188	8,7473366	8,54E-01	5	5,612	247,17	1,52E-01	1,88E-03
619	8,75	0,184	0,033856	0,0062295	76,5625	669,92188	8,7480652	6,20E-01	7	5,612	240,83	1,11E-01	1,30E-03
730	8,75	0,21575	0,0465481	0,0100427	76,5625	669,92188	8,7473397	8,53E-01	10	5,612	218,67	1,52E-01	1,99E-03

APÊNDICES

Apresentação em congressos, seminários e publicação em anais:

- SANTOS, Z. A. S. ; GUERRA, L.F ; GUIMARAES, I. F. ; SILVA, W. L. V. . Sistema de Gestão da Qualidade: A implantação do SGQ sob a ótica da gestão de pessoas. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão, e do XV International Conference on Industrial Engineering Management, The Industrial Engineering and, 2009, SALVADOR. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: Integrando tecnologia e Gestão. Rio de Janeiro : ABEPRO, 2009.
- SILVA C. O. ; SANTOS, Z. A. S.; SILVA, W. L. V. Estudo sobre a contribuição da ferramenta Balanced Scorecard (BSC) para uma empresa de pequeno porte do setor agrário. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão, e do XV International Conference on Industrial Engineering Management, The Industrial Engineering and, 2009, SALVADOR. Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. RIO DE JANEIRO : ABEPRO, 2009.
- SANTOS, Z. A. S.; SILVA, W. L. V.; PALMIERE, M. P. S. M. FMEA COMO FERRAMENTA DA QUALIDADE: O Caso do Departamento de Embalagens de um Indústria do Setor Farmacêutico. In: XXVIII encontro nacional de engenharia de produção, 2008, rio de janeiro. Fmea como ferramenta da qualidade: O Caso do Departamento de Embalagens de um Indústria do Setor Farmacêutico. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2008.
- MARIA, C. R.; SANTOS, Z. A. S. . A gestão do conhecimento como fator de competitividade: o caso de uma indústria eletroeletrônica. In: ENEGEP, 2007, Foz do Iguaçu. XXVI enegep e xii icieom. Rio de janeiro : abepro, 2007.
- SANTOS, Z. A. S. ; SILVA, N.F ; GUERRA, L.F ; PAIVA, M. L. F. . A certificação como vantagem competitiva para o produtor de café: o caso de uma fazenda produtora de café situada em buritizeiro, minas gerais. In: anais do SIMPEP XIV - Simpósio de Engenharia de Produção, 2007, BAURU - São Paulo. Gestão de Desempenho em Sistemas Produtivos - UNESP, 2007.

- SANTOS, Z. A. S. ; BITTENCOURT, M. . Análise do mercado de café na cidade de belo horizonte: uma visão da percepção do consumidor. In: congresso da sociedade brasileira de economia e sociologia rural, 2005, ribeirão preto. Anais do XLIII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2005.
- PALMIERE, M. P .S. M; SANTOS, Z. A. S.; SILVA, W. L. V.; Gestão da Educação: Estudo sobre a Confiabilidade do Processo de Ajuste de Matrícula de uma instituição de ensino superior federal utilizando o método FMEA(Failure Mode And effect Analyse): Anais do XXXVIII Congresso de Educação em Engenharia, Fortaleza, 2010.
- PALMIERE, M.P.S.M; SANTOS, Z. A. S.; MELO, L. R. F. L. C.; SILVA, Washington L.V.; MAGALHÃES, P.H.V.: Qualidade em Serviços como Metodologia para Avaliação do Ensino em Engenharia de uma IES, Anais do XXXVIII Congresso de Educação em Engenharia, Fortaleza, 2010.
- PIRES, J. G.; DUARTE, A. S.; BIANCHI, R. F.; SANTOS, Z. A. S.; BIANCHI, A. G. C.: Projeto e desenvolvimento de Produto: Proposta e desenvolvimento de dispositivo eletrônico orgânico para auxiliar no tratamento da icterícia. Anais do XVI Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru, 2009.

Revista Técnico-científica:

- Abrasive wear: Design of Experiment (DOE) for Determining the Wear on Crowns Used By Drilling Companies for Mineral Surveys.
- Desenvolvimento de Modelo de Seleção de Materiais Metálicos aplicando uma abordagem Logística – O caso de empresas do setor minero metalúrgico.
- Otimização do desgaste das coroas de perfuração de uma indústria de sondagem por meio da metodologia BSCEQ aplicada à seleção de materiais.

Grupo de Pesquisa:

- CNPq: Seleção de Materiais para projetos de Engenharia, Logística, Qualidade e Sustentabilidade. Status – certificado.

Livros publicados:

- Planejamento Estratégico, UFOP, 2009. ISBN: 978-85-98601-38-0
- Processo Decisório, UFOP, 2009. ISBN: 978-85-98601-33-5
- Recursos Humanos, UFOP, 2008. ISBN: 978-85-98601-24-3

Orientação de Trabalhos de conclusão de curso e monografias durante o doutoramento

- Aurélio Batista Soares: Aplicação de ferramentas estatísticas para a avaliação da qualidade: O caso de uma fundição de médio porte. Engenharia de Produção, UFOP, 2007.
- Fernando Txitende: A aplicabilidade das Ferramentas da Qualidade, do método Kaizen e do ciclo PDCA na compra de equipamentos e insumos industriais: O Caso de Uma mineradora de Diamantes Kimberlítico da empresa Catoca situada em Angola. Engenharia Metalúrgica e de Materiais. UFOP, 2008.
- Flávio Amora de Albuquerque: implantação do sistema de gestão da qualidade visando à certificação NBA ISO 9001:2000: o caso de uma empresa de mineração de grande porte. Engenharia de Produção, UFOP, 2008.
- Tiago Mota Avelar Almeida: estudo sobre a contribuição da análise SWOT e do *Balanced scorecard* (BSC) para gestão estratégica da Escola de Minas. Engenharia de Produção. UFOP, 2009.
- Christiane Gurgel Rodrigues: Um estudo sobre a gestão estratégica e a aplicação da ferramenta *Balanced Scorecard* no departamento de Engenharia de manutenção de uma empresa do setor siderúrgico situada em Minas Gerais. Engenharia de Produção, UFOP, 2010.
- Flávia Oliveira de Faria: Gestão Estratégica utilizando o *Balanced Scorecard* (BSC): O caso de uma propriedade agrícola cafeeira. Engenharia de Produção. UFOP, 2010. (co-orientação).
- Vanessa Fonseca Martins: Sistema de Gestão da Qualidade: Os desafios para certificação na norma ISO 9001:2008 em uma fundação de apoio à Universidade Federal de Ouro Preto. Engenharia de Produção, UFOP, 2010.

- Cristina Silva Okano: Um estudo sobre a contribuição da ferramenta *Balanced Scorecard* (BSC) para uma empresa de pequeno porte do setor agrário. Engenharia de Produção. UFOP, 2009.
- Frederico Augusto Barbosa Silva. Utilização do MASP (Metodologia de Análise e Solução de problema) agregada à filosofia Kaizen: Um estudo de caso em uma siderúrgica. Engenharia de Produção. UFOP, 2009.
- Tássia Dutra Lagôas: O Planejamento Estratégico como ferramenta de auxílio na decisão de se integrar verticalmente uma central de esterilização: O caso de uma indústria de produtos médicos e hospitalares de Minas Gerais. Engenharia de Produção. UFOP, 2009.
- Lívia Carla Silva de Araújo: Controle de qualidade no processo de seleção de materiais: O caso de uma empresa do setor de mineração situada em Mariana – MG. Engenharia Metalúrgica e de Materiais. UFOP, 2010.
- Elis Emanuele de Souza Oliveira: aplicação de ferramentas de controle da Qualidade como auxílio no tratamento e Redução de perdas: estudo de caso em um processo de tratamento de minérios de uma unidade industrial situada em minas gerais. Engenharia de Produção. UFOP, 2010.
- Júlio César da Rocha Queiroz: a gestão da qualidade sob a ótica dos princípios do controle da qualidade total: estudo sobre a aplicação das ferramentas da qualidade no gerenciamento de uma organização do setor de mineração em Minas gerais. Engenharia de Produção. UFOP, 2009.
- Thiago Trindade Linhares. Proposta para aplicação do método FMEA(failure mode and effect analyse) no processo de beneficiamento de níquel laterítico. 2009. Monografia. (aperfeiçoamento/especialização em especialização em sistemas minero-metalúrgicos) - universidade federal de ouro preto. Orientador: Zirlene Alves da Silva Santos, NUPEC/Fundação Gorceix, UFOP, 2009.
- Josenildo Serejo Lopes. Gestão estratégica da manutenção: estudo sobre a contribuição do modelo FMEA na etapa de moagem da planta de beneficiamento de minério de níquel da mineração onça puma. 2009. Monografia. (aperfeiçoamento/especialização em especialização em sistemas minero-metalúrgicos) - universidade federal de ouro preto. Orientador: Zirlene Alves da Silva Santos.
- Tiago Matheus Fadel. Gestão de projetos: metodologia PMBOK utilizada em orçamentos e fluxo de caixa de projetos de mineração. 2009. Monografia.

(aperfeiçoamento/especialização em especialização em sistemas minero-metalúrgicos) - universidade federal de ouro preto. Orientador: Zirlene Alves da Silva Santos.

- Ederson Afonso Niezer. Estudo sobre a aplicação da metodologia FMEA em projetos Mínero-metalúrgicos. 2009. Monografia. (Aperfeiçoamento/Especialização em Especialização em Sistemas Minero-Metalúrgicos) - Universidade Federal de Ouro Preto. Orientador: Zirlene Alves da Silva Santos.

Participação em Bancas de Trabalhos de conclusão de curso durante o doutoramento

- Leonardo Pereira de Queiroz: ISO 9001/2000: Análise de implantação de um sistema de gestão da qualidade em uma indústria do setor têxtil. Engenharia de Produção. UFOP, 2008.
- Henrique Barbosa Oliveira: Uma análise dos benefícios da implantação do gerenciamento da cadeia de suprimentos em uma instituição hospitalar. Engenharia de produção. UFOP, 2009.
- Luis Ricardo Morine dos Santos: Um estudo sobre a contribuição da gestão de estoques para melhoria do setor de manutenção o caso de uma empresa mineradora. Engenharia de Produção. UFOP, 2010.
- Carolina Braga Pereira: Análise da aplicação do ciclo PDCA de melhoria no processo de produção do ferro gusa de uma usina siderúrgica. Engenharia de Produção. UFOP, 2009.
- Ricardo Faria Lopes de Campos Melo: Um estudo sobre a qualidade do serviço oferecido por um curso de uma instituição pública de ensino superior. Engenharia de Produção. UFOP, 2009.
- Ana Carolina de Souza Inez: Estudo da comunicação organizacional de uma instituição pública de ensino superior. Engenharia de Produção. UFOP, 2009.

Outros

- Presidente do colegiado especial para desenvolvimento do projeto pedagógico do curso de Administração da UFOP – 27 de março de 2008 a 17 de fevereiro de 2009.
- Corpo técnico da Revista eletrônica de Engenharia de Produção.