



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**



**ERNANE CUNHA DE LIMA**

**Desenvolvimento e Análise das Pontas de Escavadeiras de Grande Porte com e sem Revestimento de Material Duro.**

**Belo Horizonte**

**2015**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**

**ERNANE CUNHA DE LIMA**

**Desenvolvimento e Análise das Pontas de Escavadeiras de Grande Porte com e sem Revestimento de Material Duro.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET MG, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Ciência e Desenvolvimento de Materiais.

Linha de Pesquisa: Seleção, Processamento e Caracterização.

Orientadora: Maria Celeste Monteiro de Souza Costa - Dr<sup>a</sup>

Belo Horizonte

2015

A Cleto Lima e Neusa Cunha, meus pais,  
Nayara, minha filha.

## **AGRADECIMENTOS**

A professora Maria Celeste Monteiro de Souza, pelo incentivo e apoio na elaboração dos trabalhos relativos ao meu Mestrado.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET, nas pessoas de Ivete Peixoto Pinheiro Silva, Ezequiel de Souza Costa Júnior, Ângela de Mello F. Guimarães e Elaine Carballo S. Corrêa, pelo apoio na elaboração do meu trabalho.

A Neusa Cunha de Lima, minha mãe, Cleto Alves de Lima, meu pai, Evandro Cunha de Lima e Cleto Alves de Lima Junior, meus irmãos, Nayara Oliveira Lima, minha filha, e minha namorada Vânia Guedes pela compreensão durante a execução desta Dissertação.

Ao Doutor. Denilson José do Carmo (Pesquisador e Instrutor do SENAI-CETEF) pelo comprometimento na busca de soluções para resolução do nosso problema e ao engenheiro Elifas Levi pelo apoio nos trabalhos executados.

Seja você quem for, seja qual for à posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.

**Ayrton Senna**

## RESUMO

Na indústria de uma forma geral e principalmente na indústria de mineração, uma das maiores preocupações está relacionada à perda de metal (massa) ocasionada por mecanismos de desgaste abrasivos e impactos que ocasionam deformação plástica, em peças e equipamentos, pois estes representam um dos principais fatores de depreciação de capital, perda de produtividade e fontes de despesas com manutenção. Além de influenciar nos custos diretos de produção devido às necessidades de reposição ou recuperação de peças desgastadas, também influencia nos custos indiretos de produção, pela necessidade de super dimensionamento de componentes e pelas limitações na produção devido a equipamentos deteriorados, além de interrupções muitas vezes imprevistas. Diante do exposto, este trabalho visa desenvolver e analisar de forma comparativa a resistência ao desgaste de pontas de escavadeiras de grande porte com e sem revestimento de material duro em diferentes solos de mineração. A metodologia utilizada inicia com a escolha do equipamento de maior custo relativo à troca da ponta da caçamba. Definido este equipamento inicia-se os testes com as pontas originais que vieram com a aquisição do equipamento, passando por mudanças no formato de penetração no solo, por mudanças de características mecânicas e químicas das pontas e paralelamente o teste final com material duro aplicado superficialmente através do processo de soldagem. Com os resultados obtidos foi possível observar que a ponta desenvolvida por fornecedor parceiro mostrou ser uma alternativa interessante uma vez que sua resistência ao desgaste foi 100 % superior à ponta original fornecida pelo fabricante do equipamento. Não foi o suficiente para conseguir o objetivo das pontas terem a vida útil de 250 horas, mas a vida útil foi dobrada em relação à vida útil inicial. Com isto obteve-se ganho em reais por hora trabalhada, reduzindo o indicador custo / hora trabalhada em torno de 66%. Existem outros ganhos intangíveis, tais como redução de hora parada da máquina para troca de pontas, redução dos serviços ergonomicamente ruins para a manutenção e aumento na produtividade do equipamento, pois mantém a ponta com comprimento e largura maiores por mais tempo, aumentando a penetração e a força para extração de rochas em taludes ou solos. Os testes foram feitos em toda mina que é composta por vários tipos de solos, cada um com sua abrasividade / impactos

característicos e com sua granulometria que vem desde material solto (friável) até rochas de grande volume e peso (lamelares). Esta enorme variação de materiais das rochas proporciona uma variedade na vida útil de 50 a 300 horas.

Palavra Chave: Mineração. Ponta de Escavadeira. Desgaste por Abrasão. Desgaste por Impacto.

## ABSTRACT

In industry in general and especially in the mining industry, a major concern is related to metal loss (mass) caused by abrasive wear mechanisms, and impacts that cause plastic deformation of parts and equipment, because they are a major capital depreciation factors, lost productivity, and sources of maintenance expenses. In addition to influencing the direct production costs due to replacement needs or recovery of worn parts, also influences the indirect costs of production, the need to super sizing of components and the limitations in production due to damaged equipment, and often unforeseen interruptions. Given the above, this work aims to develop and analyze comparatively resistance to large excavators tips wear coated and uncoated hard material in different mining soils. The methodology starts with choosing the most costly on the exchange of the tip of the bucket equipment. Set this equipment starts tests with the original tips that came with the acquisition of equipment, through changes in penetration shape in the soil, by changes in mechanical and chemical characteristics of tips and parallel the ultimate test with hard material applied superficially through the welding process. With the results we observed that the tip developed by partner supplier proved to be an interesting alternative since their wear resistance was 100% higher than the original tip provided by the equipment manufacturer. It was not enough to achieve the objective of having the ends life 250 hours, but the lifetime was doubled compared to the initial useful life. With this we obtained gains in real per hour worked, reducing the cost indicator / hour worked around 66%. There are other intangible gains, such as reduction in the machine stopping time for exchanging tips, reducing ergonomically poor service for maintenance and increase the machine's productivity, since it keeps the end with larger width and length longer, increasing the penetration and the strength for rock extraction on slopes or soil. The tests were made across mine that comprises various soil types, each with their abrasive / impact characteristic and its particle size that comes from loose material (friable) to large volume and weight of rocks (lamellar). This huge variation Rocks materials provides a variety in life 50-300 hours.

Keyword: Mining. Excavator tip. Abrasive wear. Wear Impact.

# Sumário

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>XVII</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
1.1 – Introdução .....	18
<b>CAPÍTULO 2 - JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>20</b>
2.1 – Justificativa e Relevância .....	20
<b>CAPÍTULO 3 - OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
3.1 – Objetivos do Projeto .....	23
3.1.1 – Objetivo Geral.....	23
3.1.2 – Objetivos Específicos.....	23
<b>CAPÍTULO 4 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>24</b>
4.1 – Revisão Bibliográfica .....	24
4.1.1 – Mineração .....	24
4.1.2 – Processo de Mineração .....	24
4.1.3 – Processo de Lavra em Minas a Céu Aberto .....	25
4.1.4 – Equipamentos de Carga .....	30
4.2 – Ferramenta de Penetração de Solo - FPS .....	35
4.3 – Escavadeiras Hidráulicas em Mineração.....	39
4.3.1 – Detalhamento das Caçambas das Escavadeiras .....	51
4.4 – Tipos de Desgaste .....	56
4.4.1 – Desgaste da FPS.....	57
4.5 – Aplicações e Forma de FPS dos Equipamentos de Mina.....	65

4.6 – Materiais Utilizados em Ferramenta de Penetração de Solo.....	68
4.7 – Revestimentos Duros Resistentes a Desgaste .....	71
4.8 – Classificação dos Materiais para Recobrimento Duro.....	72
4.9 – Seleção do Material para Recobrimento Duro.....	75
4.10 – Tipos de Revestimento.....	77
<b>CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA.....</b>	<b>80</b>
5.1 – Coleta Inicial de Dados.....	80
5.2 – Definição de Procedimentos para Testes.....	82
5.2.1 – Indicadores para Análise da Vida Útil e Custo .....	84
5.3 – Teste 1 – Ponta Original.....	85
5.3.1 – Análise da Produtividade da Ponta Original no Equipamento.....	85
5.3.2 – Testes com Pontas Originais do Equipamento em Diferentes Pontos da Mina.....	85
5.3.3 – Análise das Características Mecânicas, Químicas e Metalográficas do Material .....	87
5.3.4 – Cálculo dos Indicadores de Vida Útil e Custo .....	88
5.4 – Desenvolvimento de uma Ponta Ideal para Penetração no Solo .....	89
5.5 – Desenvolvimento das Pontas com Novos Fornecedores .....	91
5.6 – Testes 2 e 5 – Pontas Desenvolvidas .....	91
5.7 – Testes 3 e 4 – Revestimentos .....	92
5.8 – Comparativo de Dados de Todos os Testes .....	93
5.9 – Ensaio Utilizados para Avaliar as Características das Pontas.....	94
5.9.1 – Ensaio Mecânico de Dureza Superficial .....	94
5.9.2 – Ensaio Mecânico de Resistência a Tração .....	94
5.9.3 – Análise Química por Espectrometria Ótica .....	95
<b>CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>96</b>
6.1 – Coleta Inicial de Dados.....	96
6.2 – Execução dos Procedimentos de Testes .....	97

6.3 – Teste 1 – Ponta Original.....	98
6.3.1 – Análise da Produtividade da Ponta Original do Equipamento.....	98
6.3.2 – Análise das Características Mecânicas, Químicas e Metalográficas do Material.....	98
6.3.3 – Cálculo de Indicadores de Vida Útil e Custo.....	100
6.4 – Desenvolvimento da Forma Ideal para Penetração no Solo .....	101
6.4.1 – Escolha das Formas das Pontas .....	101
6.4.2 – Desenvolvimento de Pontas com Novos Fornecedores .....	102
6.5 – Teste 2 – Ponta do Fornecedor 1.....	103
6.5.1 – Confecção de Pontas para Testes.....	103
6.5.2 – Testes com Pontas Desenvolvidas.....	104
6.5.3 – Análise das Características Mecânicas, Químicas e Metalográficas do Material.....	105
6.5.4 – Cálculo de Indicadores de Vida Útil e Custo.....	106
6.6 – Teste 3 – Resultado / Desempenho Primeiro Teste de Enxadrezamento .....	108
6.7 – Teste 4 – Resultado / Desempenho Segundo Teste de Enxadrezamento.....	110
6.8 – Teste 5 – Ponta do Fornecedor 2.....	112
6.8.1 – Nova Confecção de Pontas para Testes .....	112
6.8.2 – Análise das Características Mecânicas, Químicas e Metalográficas do Material.....	113
6.8.3 – Cálculo de Indicadores de Vida Útil e Custo.....	115
6.9 – Avaliação das Pontas.....	116
<b>CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>121</b>
<b>CAPÍTULO 8 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>123</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>124</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Exemplos de minas de extração de minério de ferro a céu aberto .....	27
Figura 4.2 – Frente de lavra com minério e estéril .....	31
Figura 4.3 – Frente de lavra com vários tipos de produtos .....	31
Figura 4.4 – Frente de lavra com várias rochas e materiais compactos .....	32
Figura 4.5 – Frente de lavra .....	32
Figura 4.6 – Processamento de carregamento e transporte em mina céu aberto..... .....	34
Figura 4.7 – Ponto carga com uma escavadeira carregando um caminhão fora de estrada .....	34
Figura 4.8 – Detalhamento frontal da caçamba com FPS e materiais desgaste.....	37
Figura 4.9 – Detalhamento lateral da caçamba com FPS e materiais desgaste .....	37
Figura 4.10 – Escavadeira com caçamba Invertida.....	40
Figura 4.11 – Escavadeira com caçamba showel .....	40
Figura 4.12 – Escavadeira showel de grande porte e mini escavadeira invertida..... .....	43
Figura 4.13 – Componentes de uma escavadeira hidráulica .....	44
Figura 4.14 – Possíveis movimentos de uma caçamba hidráulica de caçamba invertida.....	48
Figura 4.15 – Possíveis movimentos de uma caçamba hidráulica de caçamba showel .....	49
Figura 4.16 – Modelo da escavadeira hidráulica utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.....	50
Figura 4.17 – Detalhamento dos componentes da caçamba de uma escavadeira hidráulica.....	52
Figura 4.18 – Caçamba em uma escavadeira grande porte .....	55

Figura 4.19 – Caçamba em uma escavadeira em operação.....	62
Figura 4.20 – Ponta com 65 horas de operação .....	63
Figura 4.21 – Ponta com 113 horas de operação .....	63
Figura 4.22 – Ponta com 160 horas de operação .....	64
Figura 4.23 – Equipamentos de mineração com as respectivas FPS .....	65
Figura 4.24 – Ferramentas de penetração de solo.....	66
Figura 4.25 – Guia de seleção de pontas para cada tipo de solo.....	67
Figura 4.26 – Pontas relacionadas com o tipo de solo.....	67
Figura 4.27 – Pontas relacionadas com o tipo de solo .....	68
Figura 5.1 – Fluxograma experimental.....	81
Figura 5.2 – Escavadeira trabalhando em solos mais compactados e de alto atrito.. .....	86
Figura 5.3 – Escavadeira trabalhando solos friáveis (soltos) e com baixo atrito .....	86
Figura 5.4 – Ponta de penetração reforçada.....	89
Figura 5.5 – Ponta de longa vida reforçada .....	90
Figura 5.6 – Ponta de longa vida penetração.....	90
Figura 6.1 – Ponta nova (maior) e ponta desgastada (menor).....	97
Figura 6.2 – Pontas escolhidas para os testes iniciais .....	101
Figura 6.3 – Dimensões da ponta desenvolvida para trabalho .....	102
Figura 6.4 – Ponta desenvolvida nova e desgastada.....	104
Figura 6.5 – Enxadrezamento 1 da ponta feito com eletrodo AWS E FeCr-A1..... .....	108
Figura 6.6 – Enxadrezamento 2 da ponta feito com eletrodo AWS E FeCr-A1 .....	110
Figura 6.7 – Escavadeira com dois tipos de ponta – original e com enxadrezamento 2 .....	111
Figura 6.8 – Pontas desenvolvidas com o fornecedor 2.....	113

Figura 6.9 – Pontas desgastadas a serem analisadas.....	117
Figura 6.10 – Ponta 1 – Lado do operador.....	118
Figura 6.11 – Ponta 2 – Segunda ponta na sequência .....	118
Figura 6.12 – Ponta 3 – Terceira ponta na sequência.....	119
Figura 6.13 – Ponta 4 - Quarta ponta na sequência – ponta do lado do oposto operador.....	119

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Ferramentas de Penetração de Solos e Materiais de Desgaste .....	38
Tabela 4.2 – Capacidades das escavadeiras hidráulicas.....	42
Tabela 4.3 – Detalhamento dos componentes de uma escavadeira hidráulica .....	45
Tabela 4.4 – Detalhamento dos componentes de uma caçamba.....	53
Tabela 4.5 – Classificação dos materiais para recobrimento duro .....	74
Tabela 4.6 – Guia para a seleção de ligas para recobrimento duro .....	76
Tabela 5.1 – Equipamentos da mineração que contém as FPS do estudo.....	82
Tabela 5.2 – Tabela com características mecânicas do material.....	87
Tabela 5.3 – Composição química do material em % do peso.....	88
Tabela 5.4 – Análise metalográfica da FPS .....	88
Tabela 5.5 – Custo e vida útil das pontas .....	89
Tabela 6.1 – Percentual de custo de pontas distribuído por tipo e porte de equipamento. Dados coletados em um ano de operação dos equipamentos .....	96
Tabela 6.2 – Resultado médio das análises das propriedades mecânicas feitas nas pontas original.....	99
Tabela 6.3 – Composição química do material em percentual por peso.....	99
Tabela 6.4 – Análise micrográfica na ponta original.....	100
Tabela 6.5 – Custo e vida útil das pontas originais do equipamento.....	100
Tabela 6.6 – Comparativo de valores entre ponta original e do fornecedor 1 .....	105
Tabela 6.7 – Comparativo de composição química do material original com o material do fornecedor 1 em percentual por peso.....	105
Tabela 6.8 – Análise micrográfica das pontas originais e do fornecedor 1 .....	106
Tabela 6.9 – Resultados dos testes com a ponta original e desenvolvida com o fornecedor 1 .....	106
Tabela 6.10 – Dados compilados das pontas utilizadas para teste.....	109

Tabela 6.11 – Dados compilados das pontas utilizadas para teste.....	112
Tabela 6.12 – Comparativo de características mecânicas entre a ponta original, ponta do fornecedor 1 e ponta do fornecedor 2 .....	114
Tabela 6.13 – Comparativo de composição química do material original com o material do fornecedor 1 e com do fornecedor 2.....	114
Tabela 6.14 – Análise micrográfica das três pontas testadas .....	115
Tabela 6.15 – Dados compilados das pontas utilizadas nos testes .....	116

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DF	= Disponibilidade Física dos Equipamentos.
FPS	= Ferramenta de Penetração de Solo.
h/d	= Horas por dia.
HB	= Dureza Brinell.
HT	= Horas Trabalhadas.
HV	= Dureza Vickers.
UF	= Utilização Física.
VU	= Vida útil das pontas.
HT	= Horas Trabalhadas.
Q	= Quantidade de jogos de pontas.
CT	= Custo do conjunto por hora trabalhada.
R\$	= Média de custo realizado nas pontas da frota de escavadeira em meses.
IC	= Itabirito Compacto.
IF	= Itabirito Friável.
ISCR	= Itabirito Semi Compacto Rico.
ISCP	= Itabirito Semi Compacto Pobre.
IFR	= Itabirito Friável Rico.
IFP	= Itabirito Friável Pobre.
ONU	= Organização das Nações Unidas
OAW	= Processo por soldagem de gás de oxi-acetilêno.
GMAW	= Processo de soldagem de metal arco de gás.
SMAW	= Processo de soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido.
SAW	= Processo de soldagem por arco submerso.
NRM	= Norma Reguladora de Mineração.
DNPM	= Departamento Nacional de Produção Mineral.
ESC	= Escavadeira
CR	= Carregadeira
HP	= <i>Horse Power</i> – Cavalos Vapor
KW	= Quilowatt

## CAPÍTULO 1

### 1.1 - INTRODUÇÃO

Em diversos ramos industriais, o desgaste abrasivo é o vilão da produção, ou seja, ele é o responsável pelos danos superficiais que acontece nos equipamentos. Estes danos provocam uma redução considerável na produtividade em função das constantes paradas para a substituição das peças e componentes desgastados.

Na área da mineração, com frequência, ocorre à necessidade de se fabricar peças ou componentes de máquinas que obrigatoriamente devem apresentar uma boa resistência à abrasão, ao desgaste, associado a uma boa resistência ao impacto. Nesse caso, é preciso que sejam conferidas certas propriedades particulares às camadas externas desses componentes, para que haja melhora considerável na resistência à fadiga e à abrasão.

Uma das possíveis formas de combater o desgaste abrasivo dos componentes utilizados na mineração é utilizar o método de deposição de uma liga especial resistente ao desgaste, chamada de revestimento duro, na superfície sujeita à deterioração. Para fazer a deposição deste revestimento duro é comum utilizar os processos de soldagem.

Várias técnicas de soldagem, como processo por soldagem de gás de oxi-acetileno (OAW), processo de soldadura de metal arco de gás (GMAW), processo arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW), processo de arco submerso (SAW) pode ser utilizado para revestimento duro em qualquer peça. As diferenças mais importantes entre estas técnicas encontram-se na eficiência da soldadura, a diluição em placa de soldadura e o custo de fabricação de soldadura consumível. O processo de eletrodos revestidos (SMAW) é utilizado devido ao baixo custo e de uma aplicação mais fácil, enquanto os arames tubulares têm maior produtividade e melhor qualidade de solda (Buchely et al, 2005).

A investigação tem como objetivo estudar um eletrodo comercial em termos da sua composição química, microestrutura, dureza e resistência ao desgaste abrasivo.

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver e analisar de forma comparativa a resistência ao desgaste de pontas de escavadeiras de grande porte que são responsáveis por escavar materiais nas bancadas das minas, com e sem revestimento de material duro. Espera-se que, com os resultados obtidos, seja possível fornecer melhores informações sobre qual tipo de ponta apresenta maior vida útil e melhor custo benefício.

A justificativa e a relevância deste trabalho são apresentadas no Capítulo 2, apontando a necessidade desenvolvimento.

Neste trabalho contém um objetivo geral e três objetivos específicos, informados no Capítulo 3.

Uma revisão bibliográfica é descrita no Capítulo 4, onde são apresentados alguns conceitos técnicos.

Uma descrição do detalhamento dos procedimentos experimentais e dos equipamentos utilizados para o estudo é apresentada no Capítulo 5.

Os Resultados apresentados do trabalho bem como as discussões sobre o mesmo estão apresentados no Capítulo 6

Finalmente no capítulo 7 são apresentadas as conclusões.

## **CAPÍTULO 2**

### **2.1 – JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA**

As operações de escavação, carregamento e transporte em uma mineradora são as operações mais críticas e complexas dentro dos processos de lavra, já que representam aproximadamente 40 a 60% dos custos operacionais entre todos os processos relacionados, de acordo com Rodrigues (2006), apud Quevedo (2009).

Logo, este estudo se justifica pela relevância que a economia financeira da substituição de pontas, componentes e equipamentos em uma indústria de mineração pode proporcionar, além de impactar em diversos setores da empresa como vendas, manutenção, controle de qualidade, contabilidade, financeiro entre outros.

O custo elevado para as peças de mineração se dá principalmente pelo desgaste devido à variação de abrasividade dos solos, principalmente as peças que tem contato direto com o solo, tais como pontas, chapas, escarificadores, suportes, dentre vários outros chamados de Ferramentas de Penetração de Solos (FPS). No caso de FPS, além do desgaste rápido, ocorre à redução da produtividade dos itens, pois diminuem o tamanho e comprimento, reduzindo o poder de penetração e arranque. De acordo com Barros & Melo (2006), consideram o desgaste abrasivo que ocorre entre as superfícies móveis, sob atuação de uma carga, onde a presença de partes duras nos corpos promove interações físicas que deformam e quebram a superfície causando a remoção do material das superfícies das ferramentas de penetração de solo.

Outro fator importante, segundo informado pela empresa Komatsu na Revista Manutenção & Tecnologia , edição 181, (2014) a principal função dos materiais de desgaste utilizados em caçambas de escavadeiras, retroescavadeiras e pás carregadeiras é proteger o componente estrutural, garantindo-lhe maior vida útil. Esses materiais de desgaste, também conhecidos como Ferramentas de

Penetração de Solo (FPS), melhoram o desempenho da caçamba nas diversas frentes de trabalho, garantindo maior facilidade no fluxo de entrada de material e, conseqüentemente, aumentando a produtividade do equipamento.

O rodízio de FPS torna-se mais ágil, permitindo melhor aproveitamento do aço empregado nas pontas e garantindo maior nível de afiação até o final de sua vida útil. Ou seja, é possível assegurar-se maior produtividade ao equipamento, aliada ao menor custo por tonelada produzida.

Vale ainda explicar que o rodízio é a ação de realizar a troca da posição das pontas na mesma caçamba, para uniformizar o consumo do material de desgaste. Afinal, as escavadeiras, retroescavadeiras e pás carregadeiras tendem a atacar o material lateralmente, desgastando mais as pontas do que o meio das caçambas. Já o giro é a movimentação da FPS em 180 graus nas pontas, para otimizar o aproveitamento de cada FPS.

Em pontas de escavadeiras, tanto o giro quanto o rodízio podem ser aplicados. No caso de carregadeiras, devido ao perfil das pontas e do tipo de operação do equipamento, o giro é mais recomendado.

Obviamente a operação do equipamento influencia de forma significativa na vida útil dos materiais de desgaste. Nesse aspecto, vale ressaltar que a constituição das FPS no que tange à rigidez, composição e tratamento térmico da liga de aço utilizada na sua fabricação – também faz toda a diferença na durabilidade. A recomendação, portanto, é procurar por materiais adequados a cada operação, avaliando a dureza, abrasividade e demais características do material que será manuseado.

Para Escavadeiras, por exemplo, há dentes específicos para aplicação geral, para material extra-abrasivo e para rocha altamente abrasiva. Nesses casos, existem materiais pontiagudos, perfuradores com ponta dupla e perfuradores do tipo “pá”, mais adequados para nivelamento, limpeza e classificação de terrenos.

Os dentes, como já citado, melhoram a penetração no solo e, para aumentar sua produtividade, há tecnologias que são auto-afiadas, ou seja, permitem que permaneçam afiados à medida que se desgastam, mantendo seu desempenho em alto nível.

## **CAPÍTULO 3**

### **3.1 - OBJETIVOS DO PROJETO**

#### **3.1.1 - OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem por objetivo geral analisar os tipos de perfis de pontas de escavadeiras de grande porte com e sem revestimento de material duro existentes no mercado da mineração, além de desenvolver um novo perfil de pontas que seja mais eficiente, de forma que o mesmo possa atender melhor às necessidades operacionais além do custo/benefício.

#### **3.1.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Definir qual é o melhor perfil da ponta das escavadeiras utilizadas em Minas de Mineração que atendam os diferentes tipos de solos escavados;
- b) Elevar a vida útil das pontas das escavadeiras de forma que seja possível programar a troca das mesmas no período programado para a manutenção preventiva;
- c) Avaliar o custo/benefício das alterações de forma que a empresa obtenha ganho financeiro.

## **CAPÍTULO 4**

### **4.1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **4.1.1 – MINERAÇÃO**

É um termo que abrange os processos, atividades e indústrias cujo objetivo é a extração de substâncias minerais a partir de depósitos ou massas minerais. Podem incluir-se aqui a exploração de petróleo e gás natural e até de água. Como atividade industrial, a mineração é indispensável para a manutenção do nível de vida e avanço das sociedades modernas em que vivemos (Wikipédia, 2014).

Segundo a classificação internacional adotada pela Organização das Nações Unidas, ONU, define-se mineração como sendo a extração, elaboração e beneficiamento de minerais que se encontra em estado natural: sólido, como o carvão e outros; líquido, como o petróleo bruto; e gasoso, como o gás natural. Nesta acepção mais abrangente, inclui a exploração das minas subterrâneas e de superfície (ditas a céu aberto), as pedreiras e os poços, incluindo-se aí todas as atividades complementares para preparar e beneficiar minérios em geral, na condição de torná-los comercializáveis, sem provocar alteração, em caráter irreversível, na sua condição primária.

#### **4.1.2 - PROCESSO DE MINERAÇÃO**

As operações executadas em mineração e processamento envolvem uma grande variedade de etapas, cada uma com seus atributos e requerimentos próprios para aumentar a sua eficiência. As condições para melhorar uma destas etapas podem ser contra - produtivas levando a queda no desempenho de outra etapa, ou seja, desde a extração do minério até o beneficiamento final o processo tem várias áreas separadas, mas dependentes uma das outras.

As operações de lavra em uma mina a céu aberto compreendem basicamente quatro operações unitárias (processo mina): perfuração, desmonte, carregamento e transporte. Posteriormente temos os processos de beneficiamento do minério (processo usina): britagem primária e para beneficiamento (processo usina) temos a britagem primária, britagem secundária, peneiramento, transportadores de longa distância, jiques, flotação, dentre outros processos para os produtos finais, tais como *Pellet Feed*, *Sinter Feed*, *Granulado Grosso*, *Granulado Fino* e *Pelotas*. O grande número de etapas nas operações de lavra e processamento e ainda a complexidade e as inter-relações entre elas, tornam os processos de tentativa e erro difíceis e caros.

O objeto de estudo desta pesquisa está dentro deste processo, na parte de carregamento, que é feito por escavadeiras e/ou pás carregadeiras.

#### **4.1.3 - PROCESSO DE LAVRA EM MINAS A CÉU ABERTO**

Segundo Wikipédia, 2014, Mineração a céu aberto refere-se ao método de extração de rochas ou minerais da terra por sua remoção de um poço aberto ou de uma escavação em empréstimo. O termo é usado para diferenciar esta forma de mineração dos métodos extrativos que requerem perfuração de túneis na terra - mineração subterrânea. A mineração a céu aberto é usada quando depósitos de minerais ou rochas comercialmente úteis são encontrados perto da superfície; isto é, onde a espessura do terreno de cobertura (situado por cima do material de interesse, e que tem de ser removido para se chegar a este) é relativamente pequena ou o material de interesse é estruturalmente impróprio para a abertura de túneis (como é o caso de areias, cinzas vulcânicas e cascalhos). Onde os minerais ocorrem muito abaixo da superfície, e a espessura dos terrenos de cobertura é grande ou o mineral ocorre em veios na rocha - o material de interesse é extraído usando métodos de mineração subterrânea. As minas a céu aberto são ampliadas tipicamente até que o recurso mineral (ou o lote de terra possuído pela companhia de mineração) se esgote.

Nas minas a céu aberto, o planejamento da lavra é fundamental para a previsão da cava final, do sequenciamento de lavra, da localização das bacias de contenção de finos, da disposição controlada de estéril, do desenvolvimento de novos produtos e de projetos de acessos permanentes (Queiroz Filho et al., 1997).

Os objetivos básicos do planejamento e execução da lavra de minério de ferro para Casquet et al. (1996) e Queiroz Filho et al. (1997), apud Pinheiro (2000) são:

- a) Garantir a continuidade das operações de extração do minério em uma mina para que a sempre forneça minério até a exaustão definitiva da mina em questão;
- b) Garantir que tenha o transporte de estéril e minério dentro de uma mina em períodos de longo, médio e curto prazo;
- c) Desenvolver a mina com segurança em todos os aspectos para equipamentos de mina e usina e para as pessoas;
- d) Minimizar impactos ambientais, principalmente eliminando vazamentos de óleo em máquinas e extraindo somente em áreas liberadas para o processo de mineração;
- e) Obter a adequada blendagem (mistura de materiais) dos minérios atendendo a qualidade solicitada pelos clientes;
- f) Atender as metas de produção, qualidade e manutenção;
- g) Obter maior qualidade dos produtos;
- h) Maximizar a vida útil da jazida, garantindo maior igualdade dos produtos e buscando a sustentabilidade;
- i) Subsidiar a condução do aproveitamento econômico do minério, planejando desde a retirada do minério na mina até a chegada do mesmo a qualquer cliente em qualquer local do planeta;
- j) Alcançar condições de custo mínimo.

A Figura 4.1 apresenta algumas minas de extração de minério de ferro a céu aberto.

**Figura 4.1** – Exemplos de minas de extração de minério de ferro a céu aberto.



**Fonte:** <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABbn4AL/lavra-mina-ceu-aberto-subterranea>

Segundo Guerra (1988), os métodos para avaliação de reservas podem ser classificados em três grandes grupos:

- a) Métodos convencionais: permitem realizar o cálculo de reservas minerais usando fatores médios ponderados (teores, espessuras, método do inverso da potência da distância e volume), os quais são aplicados a áreas ou volumes de influência;
- b) Métodos estatísticos: leva em consideração o aspecto espacial de área ou volume de influência de uma amostra. As amostras devem ser escolhidas aleatoriamente no interior do depósito. Trata-se de métodos puramente probabilísticos que consideram processo geológico como um processo totalmente aleatório;
- c) Métodos geoestatísticos: surgiram para levar em consideração as correlações espaciais entre as amostras, bem como a aleatoriedade representada pelas variações imprevistas de um ponto a outro no depósito.

A proposta de Guerra (1988) apresenta os métodos estatísticos para avaliação de reservas, baseados em amostragens aleatórias realizadas no depósito mineral.

Para Quevedo (2009) também considera os três métodos básicos para avaliação das reservas minerais. Dentre estes três, informa que os métodos geoestatísticos são os mais utilizados para avaliação dos depósitos minerais, por levarem em conta os aspectos estruturais e considerar a aleatoriedade característica das formações mineralizadas.

Uma vez realizada a avaliação do depósito mineral, a jazida mineral é dividida em blocos geológicos e dessa forma é montada a base de dados geológicos da jazida. Após esta etapa, pode-se então proceder à elaboração de seu projeto de lavra.

Na elaboração do projeto de lavra, faz-se um estudo para o dimensionamento dos equipamentos e instalações que irão operar na mina, com base na produção determinada.

Estas frotas de equipamentos podem ser divididas em cinco principais classes, segundo Quevedo (2009):

- a) Equipamentos de Perfuração: engloba as perfuratrizes responsáveis pela perfuração para colocar insumos de detonação e abalo do solo;
- b) Equipamentos de Desmonte: é representado pelos tratores que são responsáveis por abrir acessos (estradas) na mina, bem como acerto de pistas e áreas de estoques;
- c) Equipamentos de Carga: temos as pás carregadeiras e escavadeiras que podem ser hidráulicas ou elétricas. São equipamentos responsáveis pela carga de material (minério e estéril) em caminhões para transporte, sendo o minério para as plantas de tratamento de minério e o estéril para pilhas de rejeito;
- d) Equipamentos de Transporte: temos caminhões rodoviários ou fora estrada, que são responsáveis pelo transporte de materiais dentro da mina até as instalações de tratamento de minério ou pilha de estéril.
- e) Equipamentos de Apoio: responsáveis pelas pistas e insumos. Contemplam as motoniveladoras, caminhões pipa, carregadeiras/escavadeiras pequenas, comboios de abastecimento e todos os equipamentos de suporte às atividades da mineração;

Segundo Pinto, (1999), para a escolha do tipo e o dimensionamento dos equipamentos devem-se levar em consideração diferentes fatores, como a escala de produção, capacidade financeira do grupo minerador, características da mina testando-se as diversas alternativas disponíveis.

Existem minas, por exemplo, que utilizam um misto de carregadeiras e caminhões, com correias que transportam o minério desde a frente de lavra até o britador. Outras minas utilizam britadores semimóveis, ou seja, a posição do britador é alterada de tempos em tempos dentro da mina, fazendo com que o britador fique o mais próximo possível das frentes de lavra, reduzindo a distância de transporte e o material já é transportado após uma britagem,

O dimensionamento final dos equipamentos somente acontece após a realização do plano de lavra da mina, pois, ao fim deste, tem-se uma idéia da geometria da mina, e também os acessos a cada ponto de extração.

A geometria da mina, bem como o material a ser retirado é feito através de planejamento de lavra, que pode ser de curto prazo (até um ano de planejamento), médio prazo (um a cinco anos de planejamento) ou longo prazo (acima de cinco anos de planejamento). Pode-se considerar um plano de lavra como sendo um roteiro de operações da mina dentro de determinado intervalo de tempo que satisfaz, em termos médios às imposições ditadas pela usina de tratamento.

Conforme a Norma Reguladora de Mineração (NRM), (2002), elaborada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) descreve que a geometria da cava, pilhas e de outras estruturas devem ser atualizadas semestralmente ou em maior periodicidade, a critério do DNPM, em conformidade com o ritmo de avanço previsto no Plano de Lavra, o qual deve ser mantido na mina, bem como a documentação topográfica pertinente, para exame por parte da fiscalização.

As plantas de controle geológico da mina devem ser atualizadas semestralmente, revendo-se com frequência todos os aspectos ligados à estabilidade das estruturas.

O empreendimento deve possuir obrigatoriamente um acervo de plantas que, em conjunto, contemplem no que couber, os seguintes itens, Norma Reguladora de Mineração (NRM), (2002):

- a) Os limites das concessões;
- b) Os perímetros das cavas e sistemas de disposição;
- c) Limites das faixas de segurança;
- d) Ângulos laterais das faixas de segurança;
- e) Limites da área de mineração;
- f) Dados referentes à espessura do minério ou das camadas mineradas;
- g) Os contatos geológicos dos diferentes cortes na cobertura e no minério;
- h) Cotas nos pontos significativos como no limite superior e inferior dos cortes na cobertura e no minério, em distâncias inferiores a 200,00 m (duzentos metros);
- i) Áreas revegetadas;
- j) Falhas e diques interceptados;
- k) Delimitação das áreas de risco e de influência da lavra.

Pode-se considerar um plano de lavra como sendo um roteiro de operações da mina dentro de determinado intervalo de tempo que satisfaz, em termos médios, às imposições ditadas pela usina de tratamento.

#### **4.1.4 - EQUIPAMENTOS DE CARGA**

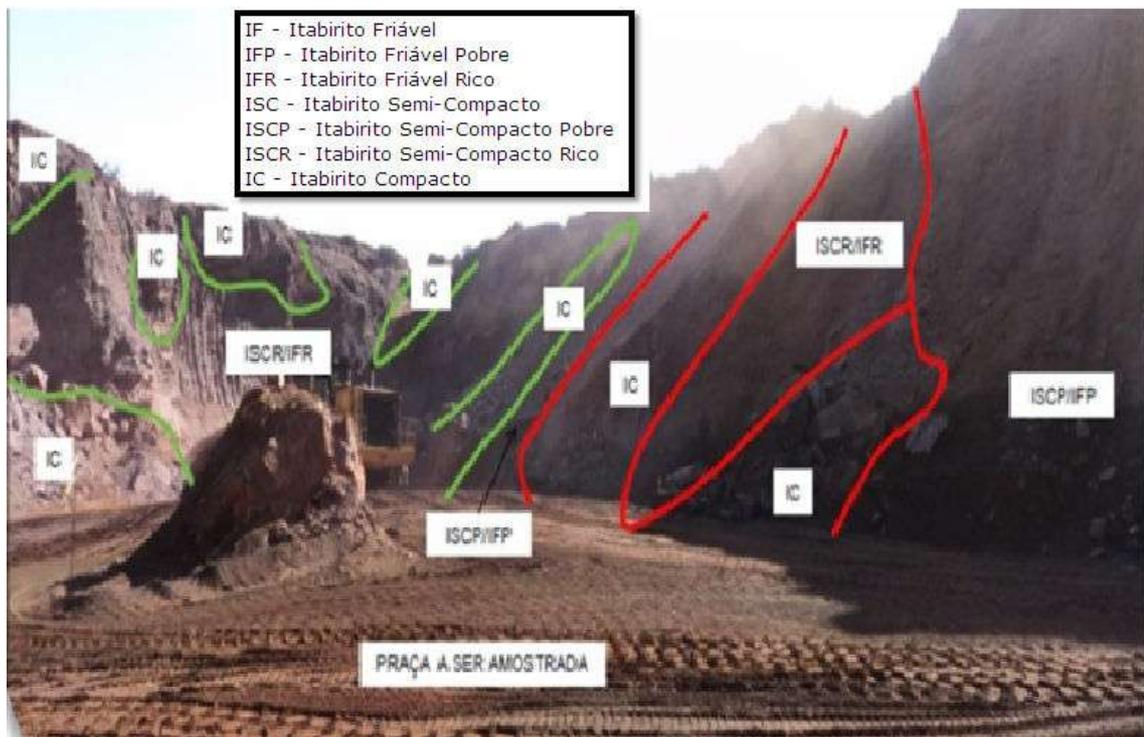
Em uma mineração têm-se vários tipos de produtos sendo escavados conforme pode ser observados nas Figuras 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 Estes produtos têm que ser extraídos de uma frente de lavra, mas posteriormente tomam caminhos diferentes depois. Tem-se minério, estéril, blocos dentre outros, cada um com sua composição química e principalmente com suas características minerais tais como dureza, resistência a impacto, atrito, dentre outras. Na escavação a escavadeira tem que trabalhar com esta variedade de materiais e de características informadas.

Figura 4.2 - Frente de lavra com minério e estéril.



Fonte: Mineração Usiminas (Mina Oeste – Itatiaiuçu - 2013)

Figura 4.3 - Frente de lavra com vários tipos de produtos.



Fonte: Mineração Usiminas (Mina Oeste – Itatiaiuçu - 2013)

**Figura 4.4** - Frente de lavra com várias rochas e materiais compactos.



**Fonte:** Mineração Usiminas (Mina Oeste – Itatiaiuçu - 2013)

**Figura 4.5** - Frente de lavra.



**Fonte:** Mineração Usiminas (Mina Oeste – Itatiaiuçu - 2013)

Conforme Quevedo (2009), as operações de carregamento e transporte consistem em transportar o material extraído da jazida até diferentes pontos de descarga.

A definição das ferramentas de penetração do solo (FPS) está diretamente ligada à destinação a qual será submetido o equipamento portador, como a movimentação de solos ou rochas, e às suas características operacionais, como o torque e potência. Quando utilizados de forma inadequada, os acessórios como pontas, bordas, cantos, segmentos, dentes monoblocos, adaptadores, suportes e unhas podem sofrer desgaste, comprometendo significativamente o desempenho do equipamento e a sua produtividade. (Revista de Manutenção & Tecnologia, Edição 147, 2011).

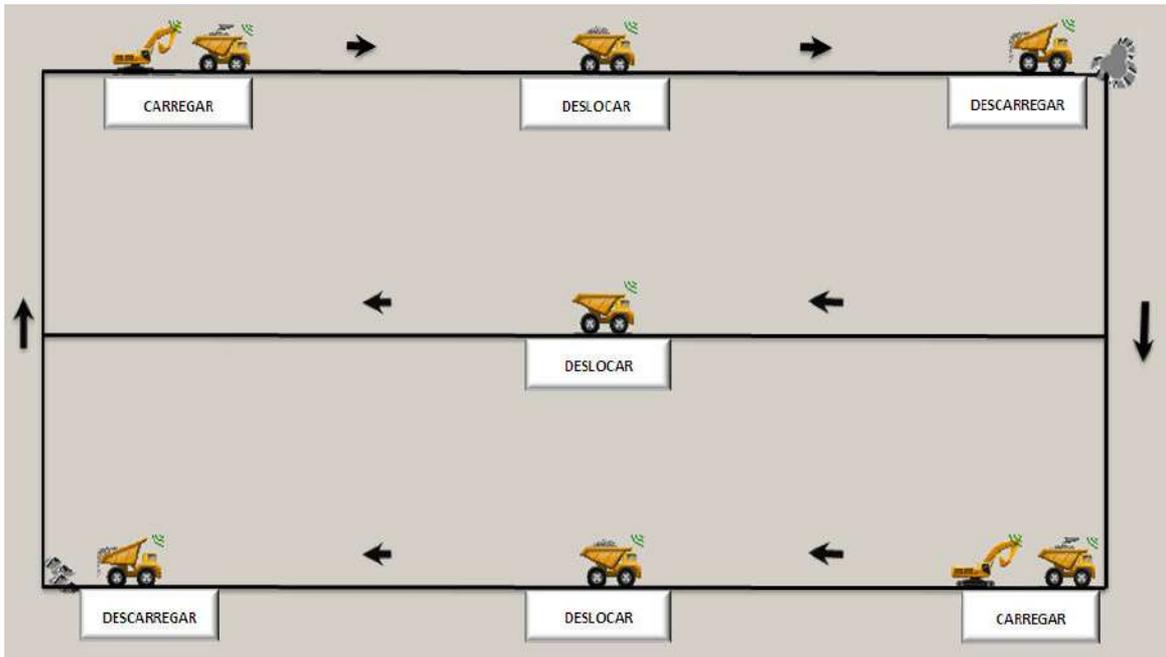
Em minas a céu aberto as atividades iniciam com a preparação da área a ser lavrada para que ela possa ser perfurada e detonada. Com isto os caminhões são direcionados até uma determinada frente de lavra, os equipamentos de carga (pás carregadeiras ou escavadeiras) que estão alocados nas frentes retiram o material e o carregam nos caminhões. Os caminhões carregados transportam o material até um determinado ponto de descarga (britadores, pilha estéril ou pilha pulmão) e em seguida voltam para uma frente de lavra disponível, onde repetirão as mesmas operações.

As operações de carregamento e transporte são realizadas de forma contínua. Os caminhões realizam ciclos de carregamento e basculamento repetidamente percorrendo as possíveis rotas disponíveis; quando partem de um ponto de carga para um ponto de basculamento, ou vice versa, o fazem diretamente sem paradas intermediárias.

A Figura 4.6 representa de forma esquemática através do diagrama de movimentação de caminhões nas operações de carregamento e transporte.

As operações de carregamento em caminhões rodoviários ou foras de estradas podem ser feitas com escavadeira, ou carregadeiras. A Figura 4.7 representa uma escavadeira de grande porte carregando um caminhão fora de estrada.

**Figura 4.6** – Processo de carregamento e transporte em uma mina de céu aberto.



**Fonte:** Próprio autor

**Figura 4.7** - Ponto carga com uma escavadeira carregando um caminhão fora de estrada.



**Fonte:** <http://pt.dreamstime.com/imagem-de-stock-máquina-escavadora-que-enche-o-caminhão-image31565251>

## 4.2 - FERRAMENTA DE PENETRAÇÃO DE SOLO – FPS

As ferramentas de penetração de solo são conhecidas por muitos nomes sendo alguns deles: bordas cortantes, dentes, protetores, ferro de desgaste, pontas ou ferramentas de penetração no solo (FPS).

Independentemente do nome que se dá a esta ferramenta a mesma sempre é um componente de sacrifício. Sua finalidade é proteger componentes de alto custo como a borda base de caçambas, a chapa estrutural (chapa “mãe”) e todas as estruturas dos equipamentos que ficam em contato direto com a extração do minério, estéril, rochas e demais materiais que estão nas bancadas e solos.

As FPS’s contribuem com grande parte dos custos de manutenção de uma máquina. Apesar de ser uma peça essencialmente de desgaste é necessário verificar qual é a FPS mais adequada para cada tipo de trabalho para que se possa obter a máxima vida útil sob as condições de desgaste e diminua a parada de máquinas para troca.

Na busca de melhor desempenho do equipamento e diante das necessidades como, eficiência durante a penetração na pilha de material, resistência à abrasão e resistência ao impacto, os usuários precisam avaliar cada caso para que seja feita a melhor escolha desses componentes. Existem algumas empresas que atuam na fabricação de FPS e em peças de desgaste que apontam uma tendência para o uso de ferramentas cada vez menos espessas.

Para garantir a eficiência desejada os especialistas estão utilizando pontas mais afiadas, que proporcionam penetração rápida em vários tipos de solo, principalmente em solos como saibro e minérios de baixa abrasividade. Ferramentas com esse perfil desagregam o material com mais facilidade, proporcionando ciclos de escavação mais rápidos. Apenas uma advertência que os especialistas relatam é que as pontas menos espessas apresentam menor durabilidade.

Para evitar a quebra da FPS e paradas constantes para sua troca, alguns usuários preferem operar com ferramentas reforçadas, ou seja, ferramentas de pontas mais grossas.

Atualmente, as pontas mais espessas são indicadas para serviços extremamente pesados, como o carregamento de rocha, calcário, granito e minério de ferro, ou seja em situações nas quais o poder de desagregação do material não é um entrave para a produtividade.

As FPS são montadas em caçambas e outros componentes através de travas, pinos ou são soldadas diretamente na “chapa mãe”. Pontas, e canelas são montadas. Já as demais são soldadas diretamente nos componentes.

Os materiais mais indicados para aplicações em peças de desgaste, de penetração e de movimentação de materiais são os aços com ligas a base de carbono, silício, níquel, manganês, molibdênio, e cromo que podem variar as características mecânicas do conjunto, pois estes são mais resistentes a condições de abrasão e impacto.

As Figuras 4.8 e 4.9 apresentam as ferramentas de penetração de solo utilizadas em caçambas, bem como os materiais de desgaste que também tem contato direto com o solo evitando o desgaste da chapa estrutural em caçambas que tem contato com materiais de desgaste mais abrasivos. O item 2 da Figura 4.8 é o objeto de estudo deste trabalho.

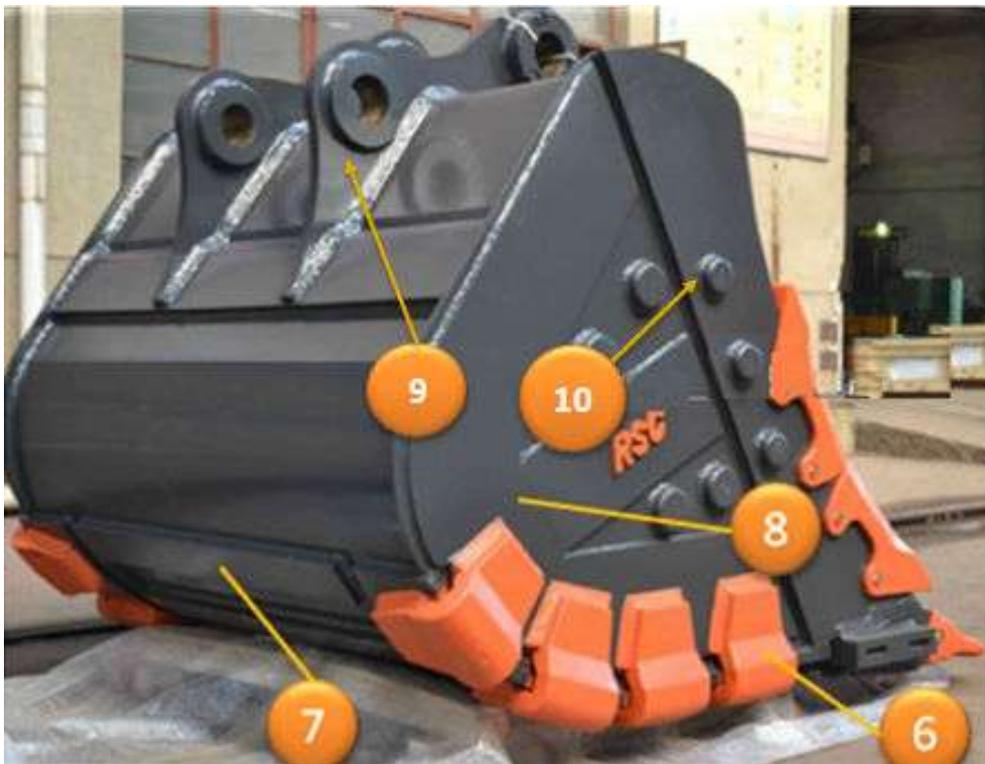
A Tabela 4.1 detalha cada um dos componentes de desgaste instalados em uma caçamba na parte estrutural, com suas funções. Esta caçamba é bem similar a caçamba utilizada no estudo.

**Figura 4.8** - Detalhamento frontal da caçamba com FPS e materiais de desgaste.



Fonte: [http://www.excavatorbucket.en.alibaba.com/product/1763067166-221940381/Kobelco\\_SK350\\_Underground\\_Mining\\_Bucket\\_for\\_Excavator.html](http://www.excavatorbucket.en.alibaba.com/product/1763067166-221940381/Kobelco_SK350_Underground_Mining_Bucket_for_Excavator.html)

**Figura 4.9** - Detalhamento lateral da caçamba com FPS e materiais de desgaste.



Fonte: [http://www.excavatorbucket.en.alibaba.com/product/1763067166-221940381/Kobelco\\_SK350\\_Underground\\_Mining\\_Bucket\\_for\\_Excavator.html](http://www.excavatorbucket.en.alibaba.com/product/1763067166-221940381/Kobelco_SK350_Underground_Mining_Bucket_for_Excavator.html)

**Tabela 4.1 – Ferramentas de penetração de solo e materiais de desgaste.**

<b>Número</b>	<b>Componente</b>	<b>Função</b>
1	Canela	Proteção das laterais – fixadas através de pinos e/ou pelo processo de soldagem.
2	Pontas	Primeira parte caçamba que toca do solo – fixadas com pinos ou travas.
3	Revestimento interno	Proteção interna das laterais - fixadas através do processo de soldagem nas laterais e rebitadas nos centros.
4	Entre dentes	Proteção entre os dentes – fixadas através do processo de soldagem.
5	Revestimento interno do bojo	Proteção interna do bojo – fixadas através do processo de soldagem.
6	Cantoneira	Proteção das quinas – fixadas através do processo de soldagem.
7	Revestimento Externo bojo	Revestir traseira da caçamba - fixada através do processo de soldagem
8	Revestimento lateral do bojo	Revestir laterais da caçamba – fixada através do processo de soldagem.
9	Alça	Suporte de fixação da caçamba – fixada através do processo de soldagem.
10	Pastilhas de desgaste	Diminuir contato do material com a lateral da caçamba – fixada através do processo de soldagem.

**Fonte:** Próprio autor

### 4.3 - ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS EM MINERAÇÃO

Também chamadas de pás-carregadeiras, escavador ou pá mecânica, escavadeira é a designação genérica dada aos vários tipos de máquinas de escavar, de revolver ou remover terra ou qualquer material que tenha necessidade de ser retirado, tais como: terra, blocos de cimento, rochas, bancadas de rejeito, bancadas de minérios de ferro e outros metais encontrados na natureza.

As escavadeiras podem executar diversas operações, de acordo com o tipo de lança, a saber.

- a) lança com pá frontal com caçamba invertida;
- b) lança com pá frontal com caçamba *shovel*;
- c) lança com caçamba de arrasto ou *drag-line*;
- d) lança com caçamba de mandíbulas ou *clam-shell*;
- e) lança com caçamba de articulação múltipla ou *orange peel*;
- f) lança restroescavadora, *back-shovel*, *retro-shovel* ou *hoe*.

As duas primeiras caçambas fazem parte do estudo. As demais não têm ou pouco utilizam as ferramentas de penetração de solo.

A escavadeira de caçamba frontal é conhecida, também, com retro-escavadeira, com caçamba invertida, pois possui a caçamba voltada para baixo e escava executando movimentos no sentido de cima para baixo, conforme Figura 4.10. Esse implemento tem sua maior eficiência quando escava em um nível inferior ao de apoio de sua base. O funcionamento da retro-escavadeira é semelhante ao do “shovel”, diferindo quanto à descarga da caçamba. O carregamento é feito pela boca e a descarga é, igualmente, pela boca da caçamba.

Já a escavadeira de caçamba frontal com caçamba “shovel” é uma máquina automotora, provida de lança articulada, (também chamada de torre, em algumas publicações), com braço igualmente articulado, tendo na sua extremidade uma caçamba de fundo móvel. Possui a caçamba voltada para cima e escava

executando movimentos no sentido de baixo para cima, conforme Figura 4.11.

**Figura 4.10** – Escavadeira com caçamba invertida.



**Fonte:** Caterpillar Modelo 321D - 2014

**Figura 4.11** – Escavadeira com caçamba shovel.



**Fonte:** Caterpillar Modelo 6090 - 2014

As Escavadeiras com caçamba Showel são utilizadas para escavar cortes altos, especialmente de materiais rochosos, com taludes situados acima do nível em que a máquina trabalha (Ricardo e Catalani, 2007; Abram e Rocha, 2000; Nunnally, 2011; Peurifoy et al., 2011). O giro da lança permite que a caçamba seja deslocada no plano horizontal para uma posição de descarga que é executada com a abertura do fundo da caçamba. O “shovel” é o equipamento ideal para ser empregado em “serviços pesados” devido à grande força de escavação obtida na borda cortante da caçamba e à segurança que possui.

Já a escadeira com caçamba de arrasto ou *drag-line* é constituída por uma treliça metálica, em cuja extremidade há uma roldana pela qual passa o cabo de elevação da caçamba, acionado pelo cabrestante. A lança é sustentada pelo cabo, variando seu ângulo entre 25° e 40°, através de articulação, e pode ter seu raio de alcance aumentado com a intercalação de uma seção intermediária. A escavação dá-se pelo arrastamento da caçamba, através do cabo de arrasto, que é acionado pelo cabrestante. As escavadeiras *drag-line* trabalham em escavações em níveis abaixo daqueles em que se encontram (Ricardo e Catalani, 2007; Abram e Rocha, 2000; Nunnally, 2011; Peurifoy et al., 2011). As vantagens da *drag-line* são:

- a) Maior raio de alcance dentre todos os equipamentos de terraplenagem;
- b) A possibilidade de carregar as unidades de transportes fora da zona de escavação, evitando que estas tenham que manobrar sobre a lama.

A lança com caçamba de mandíbulas ou *clam-shell* é constituída por duas partes móveis, comandadas por cabos que podem se abrir ou fechar como mandíbulas e que possuem superfície de corte ou dentes. A escavação dá-se pela queda da caçamba e, posteriormente, pelo fechamento das mandíbulas, de modo que a escavação avança verticalmente.

A escavadeira com caçamba retroescavadora possui a caçamba voltada para baixo, em direção à cabina da máquina, e, por essa razão, trabalha escavando em níveis situados abaixo daquele em que a máquina se encontra. De acordo com Ricardo e Catalani (2007), este tipo de escavadeira é utilizado:

a) na escavação de valas em grande profundidade e de largura reduzida, sem presença de escoramento;

b) em cortes de altura elevada;

c) como equipamento substituto das escavadeiras *drag-line* na abertura de canais, na remoção de solos impróprios, dentre outros. No Brasil, este tipo de equipamento é chamado simplesmente de escavadeira hidráulica. Ressalte-se ainda a existência também da chamada retroescavadeira (*backhoe loader*), conhecida por sua versatilidade, que consiste na combinação de três tipos de equipamentos – trator, carregadeira e escavadeira com lança retroescavadora (Peurifoy et al., 2011).

As escavadeiras hidráulicas são geralmente divididas em três tamanhos: mini/pequena, média e grande porte. A Tabela 4.2 apresenta a capacidade de cada escavadeira em função do porte da mesma.

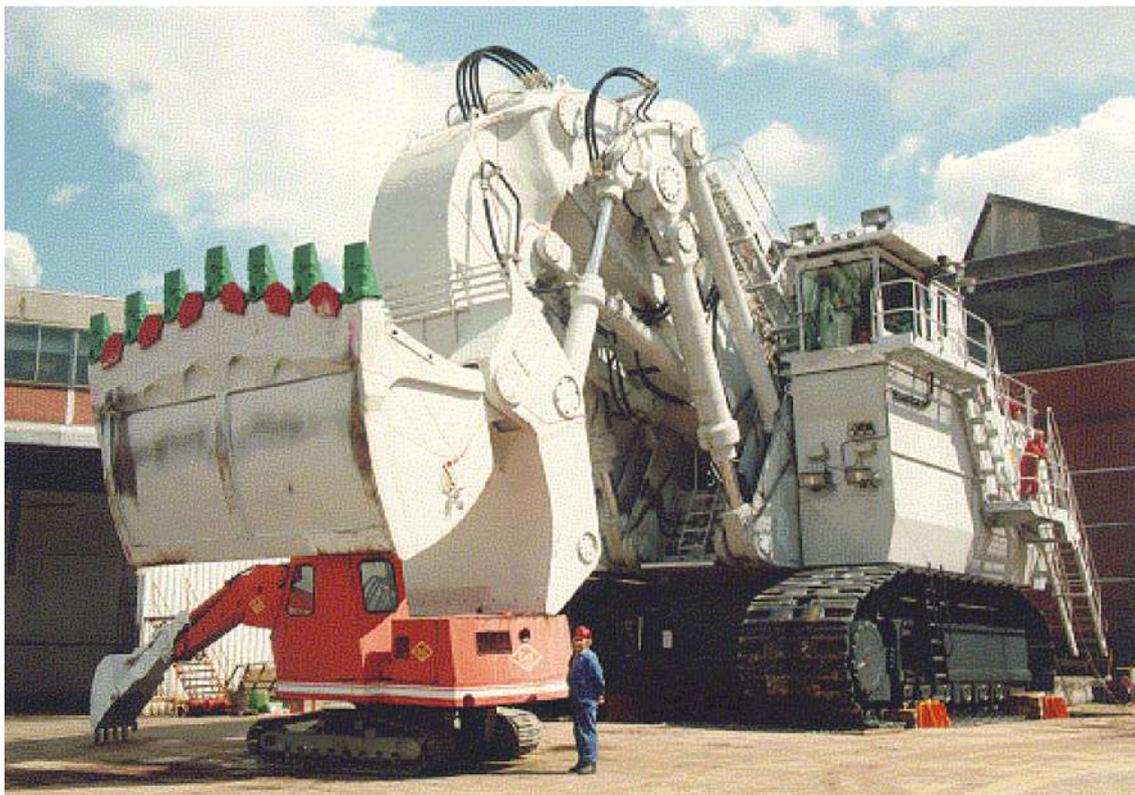
**Tabela 4.2 – Capacidades das escavadeiras hidráulicas.**

<b>Porte</b>	<b>Peso operacional (ton)</b>	<b>Potência (kw)</b>
Mini / Pequena	7 a 20	59 a 93
Médio	21 a 37	103 a 200
Grande	Maior que 37	Maior 200

**Fonte:** Caterpillar (2014)

A maior escavadeira do mundo foi construída pela companhia alemã Krupp, e tem 96 metros de altura e pesa 13.500 toneladas. A Figura 4.12 apresenta um modelo de escavadeira de grande porte, destacada na cor branca (clara) e uma escavadeira de pequeno porte (mini) destacada na cor laranja (escura) que está dentro da caçamba da escavadeira de grande porte.

**Figura 4.12** - Escavadeira Showel de grande porte e mini escavadeira invertida.



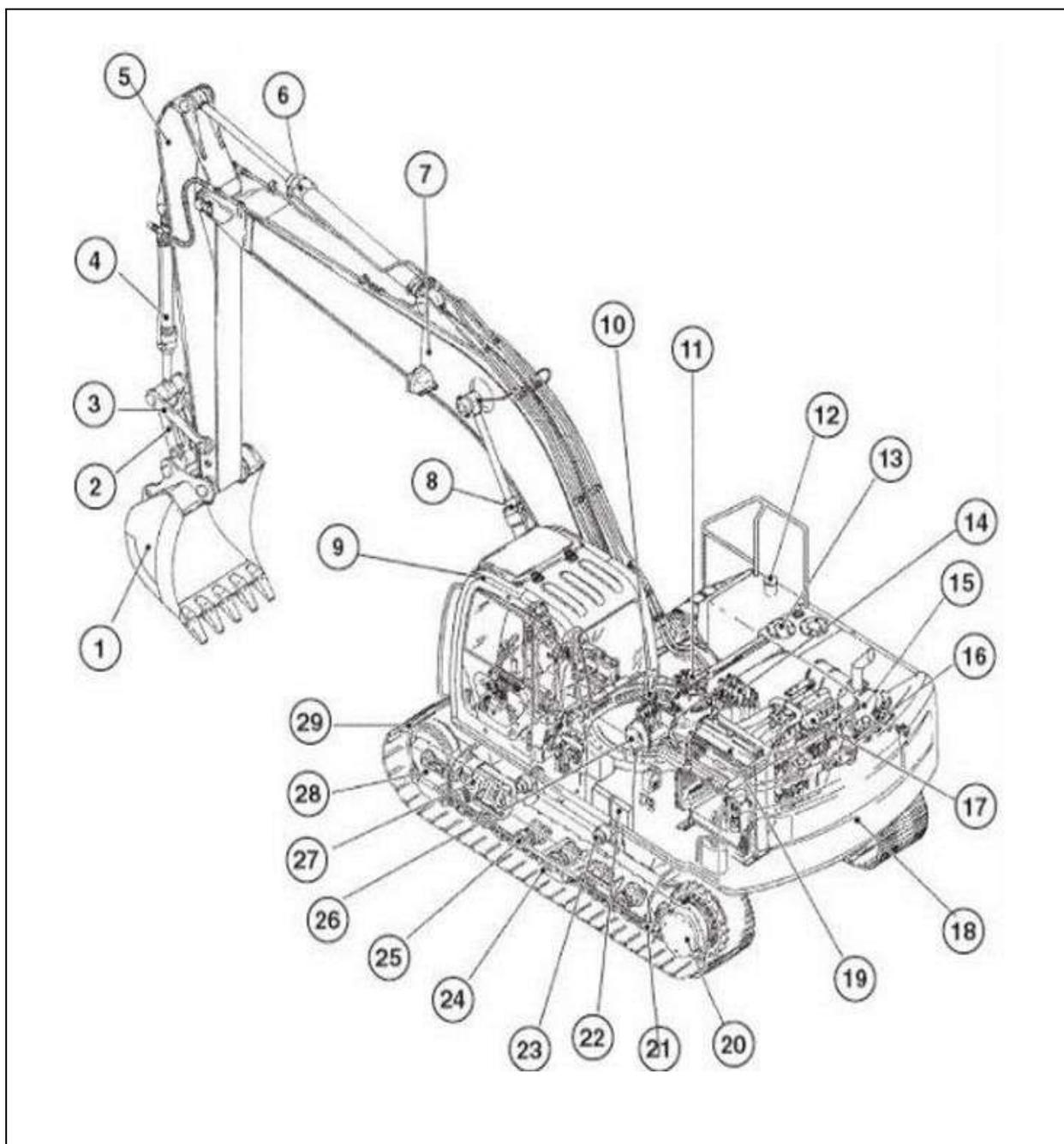
**Fonte:** <http://www.asmaquinaspesadas.com/2012/06/fotos-e-videos-da-maior-escavadeira.html>

Os especialistas que trabalham nas maiores empresas de escavadeiras do setor advertem que o tipo de ferramenta adequada para cada operação deve ser considerado de acordo com o serviço que a mesma vai executar principalmente em relação à geometria das pontas e até mesmo das lâminas (bordas cortantes) das caçambas (Revista de Manutenção & Tecnologia, Edição 147, 2011).

A correta especificação das ferramentas de penetração do solo (FPS) também resulta em menor consumo de combustível, menor esforço para o equipamento além de contribuir para a redução dos custos de manutenção e operação. Em geral, as FPS de trator de esteiras, motoniveladoras e retroescavadeiras têm projetos semelhantes, com pouca variação. As maiores variações em termos de geometria da ponta das FPS se encontram nas carregadeiras e escavadeiras e estão destacadas dentro deste estudo. (Revista de Manutenção & Tecnologia, Edição 147, 2011).

A Figura 4.13 apresenta uma vista mostrando uma escavadeira hidráulica comum no mercado composta de 29 componentes. A Tabela 4.3 detalha cada um dos componentes com suas respectivas funções.

**Figura 4.13** – Componentes de uma escavadeira hidráulica.



**Fonte:** <http://c3manuais.blogspot.com.br/2012/10/curso-escavadeira-hidraulica-case-cx.html>

**Tabela 4.3** – Detalhamento dos componentes de uma escavadeira hidráulica.

<b>Número</b>	<b>Componente</b>	<b>Função</b>
1	Caçamba	Responsável por retirar o material do solo. Contem as pontas.
2	Articulação da caçamba	Responsável pelo movimento de fechamento e abertura da caçamba.
3	Articulação intermediária	Responsável pelo movimento de fechamento e abertura da caçamba.
4	Cilindro da caçamba	Responsável pelo movimento de fechamento e abertura da caçamba.
5	Braço Penetrador	Responsável pelo movimento de fechamento e abertura da caçamba.
6	Cilindro do braço	Responsáveis pelo movimento completo do braço.
7	Lança	Responsáveis pelo movimento completo do braço.
8	Cilindro da lança	Responsáveis pelo movimento completo do braço.
9	Cabine	Local que o operador de máquina movimenta o equipamento.
10	Redutor de giro	Responsável pelo giro do equipamento em 360° para os dois sentidos de rotação.
11	Motor de giro	Responsável pelo giro do equipamento em 360° para os dois sentidos de rotação.
12	Reservatório de Combustível	Tanque de combustível do equipamento.
13	Reservatório de óleo hidráulico	Tanque de óleo hidráulico para todo sistema hidráulico.
14	Válvula de controle	Válvula hidráulica que direciona o fluxo de óleo para todos os movimentos do equipamento.
15	Silencioso do motor	Responsável por reduzir o ruído e poluição dos gases expelidos pelo motor diesel.
16	Bomba hidráulica	Responsável por bombear óleo hidráulico gerando pressão e vazão calibradas para o sistema hidráulico.
<b>Número</b>	<b>Componente</b>	<b>Função</b>

<b>17</b>	Motor diesel	Motor de combustão interna tendo como combustível o Diesel.
<b>18</b>	Contrapeso	Responsável por nivelar a máquina quando a mesma está em operação de carregamento.
<b>19</b>	Radiador do motor	Componente responsável pelo controle da temperatura do motor diesel através de sistema de água de resfriamento.
<b>20</b>	Motor de translação	Responsável pela movimentação da máquina em ambos os sentidos de direção (frente e ré). Tem uma coroa dentada montada no motor de giro.
<b>21</b>	Esteira	Funciona como corrente de bicicleta e é montada na coroa de giro de um lado e de suportes que apóiam no piso e movimentam a máquina.
<b>22</b>	Sistema elétrico	Composto de baterias e os componentes elétricos.
<b>23</b>	Rolete superior	Auxilia no giro da esteira.
<b>24</b>	Guia da esteira	Responsável por centralizar a esteira.
<b>25</b>	Rolete inferior	Auxilia no giro da esteira.
<b>26</b>	Bomba de lubrificação	Responsável por enviar graxa nas principais articulações móveis.
<b>27</b>	Mola tensora	Responsável por tencionar a esteira.
<b>28</b>	Roda guia	Auxilia no giro da esteira.
<b>29</b>	Esteira	Em contato com o solo movimenta o equipamento em ambos os sentidos.

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

Os movimentos das escavadeiras hidráulicas são controlados por um sistema de bombas positivas de óleo que proporcionam os movimentos de transladar sobre esteiras, rotacionar em 360° para os dois lados (direito e esquerdo) além do acionamento do “braço” hidráulico que faz todo o carregamento de material para os caminhões de transporte.

Os movimentos da máquina copiam os movimentos do braço humano, onde o “boom” e o “stick” são respectivamente o “braço” e o “ante-braço” humano respectivamente, já a caçamba é como se fosse a “mão” que carrega o material.

Uma escavadeira hidráulica é composta por três equipamentos: trator, carregadeira e a escavadeira. Cada equipamento desses é indicado para um tipo de trabalho, e geralmente em uma obra se usa os três equipamentos.

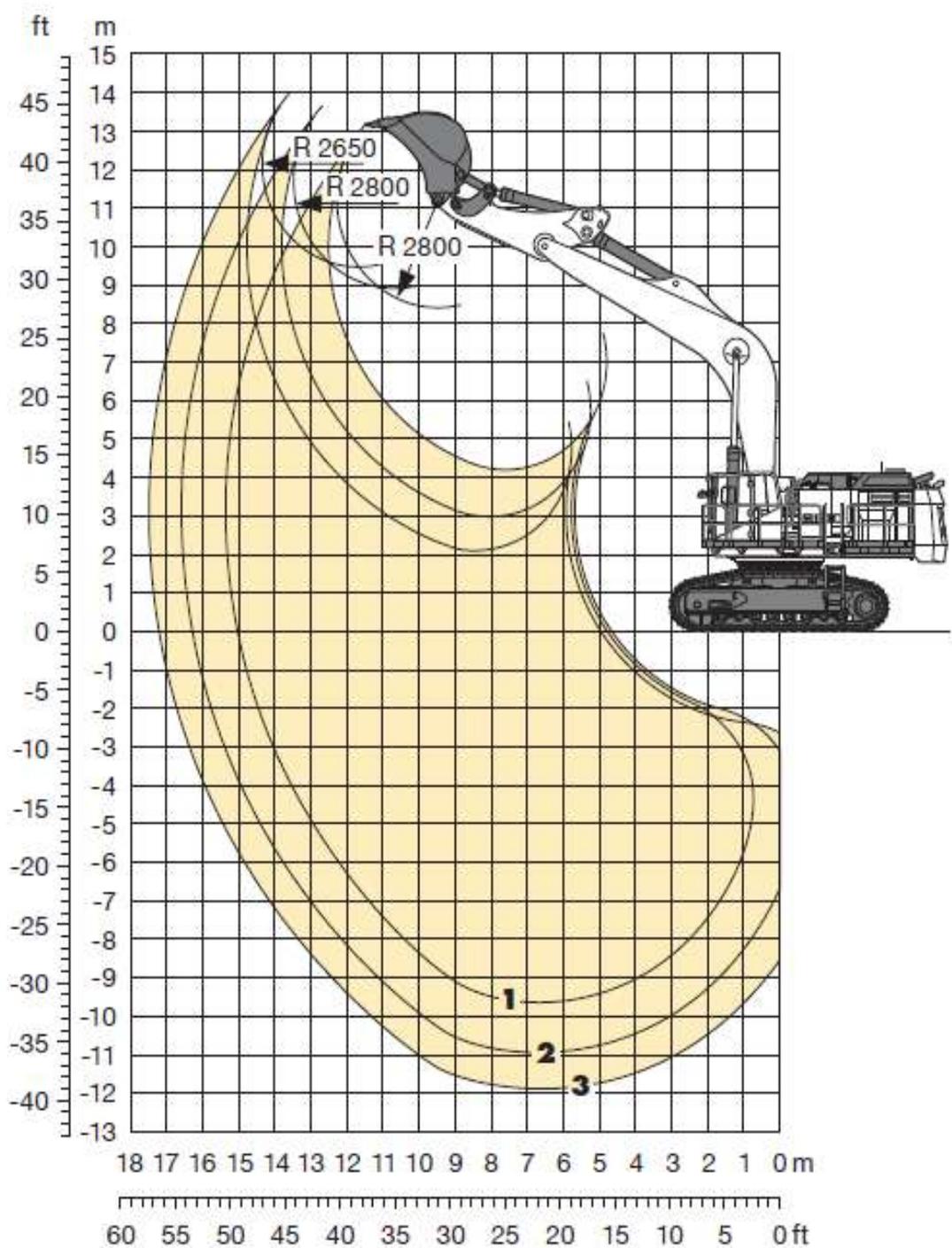
O trator foi projetado para se movimentar em todos os tipos de terrenos acidentados, ele é a estrutura central da escavadeira, composto, na maioria das máquinas, por esteiras metálicas.

A carregadeira, que é a parte da frente da escavadeira, é usada principalmente para carregar terra, sujeira e outros materiais em grande quantidade. Serve também para aplainar ou empurrar os mesmos como um arado.

As Figuras 4.14 e 4.15 apresentam, de forma esquemática, possíveis movimentos das escavadeiras de caçamba invertida e de caçamba shovel respectivamente. Pode-se observar que a caçamba consegue pegar retirar acima e abaixo do próprio equipamento. O equipamento pode girar 360° para os dois lados o que possibilita retirada de material em um raio máximo da escavadeira. Outra característica do equipamento é que ele movimenta para frente e para trás na mesma velocidade e força.

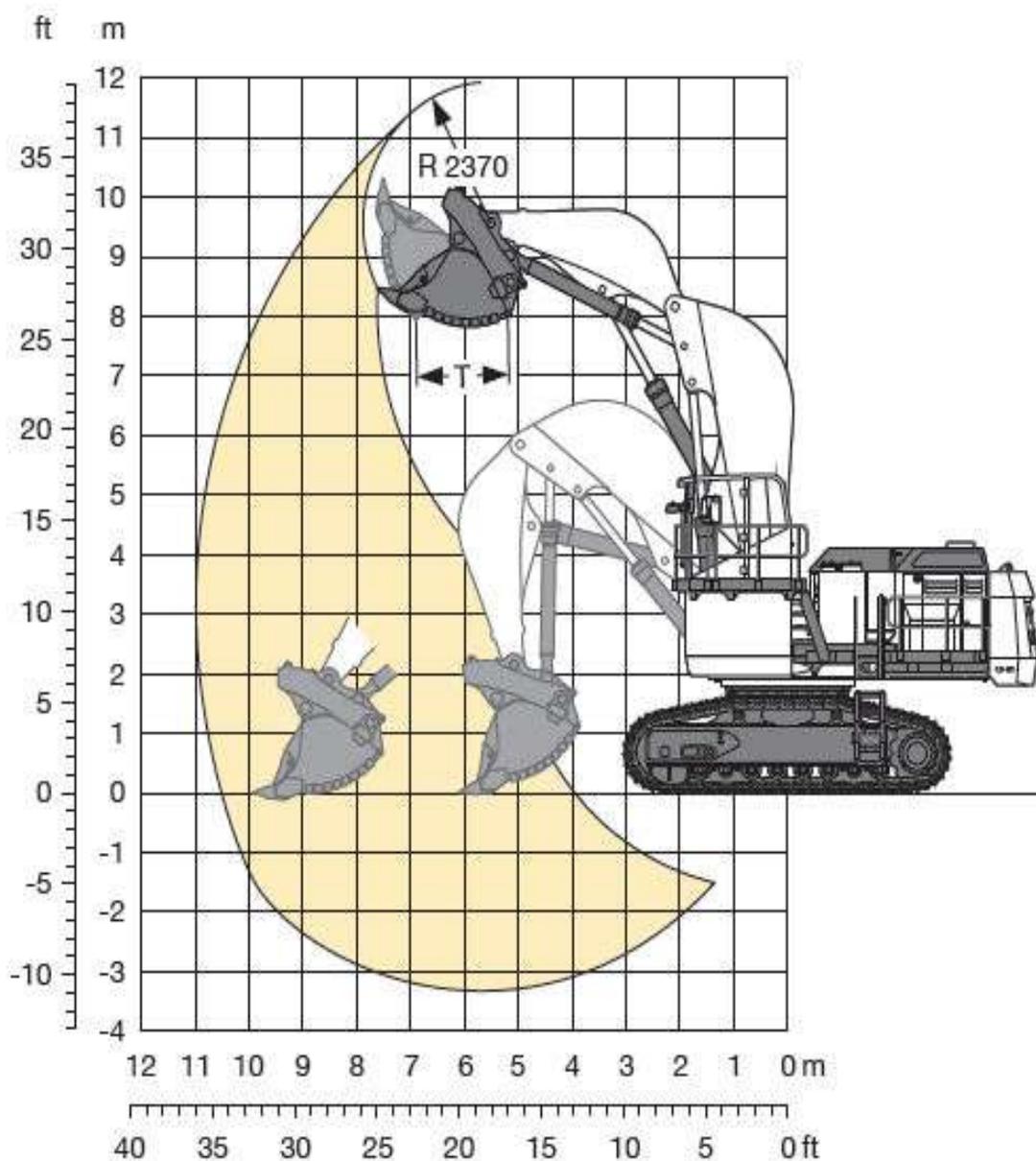
Por fim, a principal ferramenta que é a própria escavadeira, serve para compactar material, levantar objetos pesados e fazer escavações. Ela escava todos os tipos de buracos, mas sua principal função é escavar trincheiras.

**Figura 4.14** - Possíveis movimentos de uma escavadeira hidráulica de caçamba invertida.



Fonte: Liebherr Modelo R9100 (2014)

**Figura 4.15** - Possíveis movimentos de uma escavadeira hidráulica de caçamba tipo shovel.



**Fonte:** Liebherr Modelo R9100 (2014)

A Figura 4.16 apresenta um modelo de escavadeira que é utilizada na mineração e é a máquina que foi definida para o estudo neste. Essa escavadeira pesa 110ton e é equipada com um motor de 565kW (757HP). Sua caçamba pode transportar em uma só “conchada” ou “cavada” até 15 toneladas.

**Figura 4.16** - Modelo da escavadeira hidráulica utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.



**Fonte:** Liebherr R9100 (2014)

#### **4.3.1 - DETALHAMENTO DAS CAÇAMBAS DAS ESCAVADEIRAS**

Conforme especificações técnicas dos fornecedores de máquinas, tais como *Caterpillar, Liebherr, New Holland*, dentre outras, a caçamba é o componente de uso geral utilizada em escavadeiras hidráulicas e a cabo de qualquer porte e capacidade, sendo um acessório fundamental para realizar principalmente os trabalhos de escavações.

As caçambas costumam ser a parte do equipamento pesado que tenham contato direto com a terra, areia ou rocha, sejam em máquinas carregadeiras, retroescavadeiras, escavadeiras hidráulicas ou caminhões basculantes. Em máquinas pesadas, as caçambas servem para realizar a escavação e transporte do material escavado ou carregamento.

Nas máquinas, as caçambas podem ser comuns com lâmina, dentes ou unhas. Podem ser também caçambas trituradoras, para trituração de concreto, rocha ou entulho, podem ser caçambas peneiras, para separação gradual de materiais, entre tantos outros tipos.

O volume das caçambas de escavadeiras é de acordo com a necessidade do comprador. As características das caçambas vão depender do tamanho, tipo de trabalho a serem realizados, caminhões que serão carregados, bem como outros detalhes técnicos que devem ser informados ao fabricante no momento da compra da caçamba.

O volume e a densidade do material a ser transportado é que determina o tamanho da caçamba. Mas a principal característica que vai determinar como é a caçamba e se vai necessitar de reforços ou materiais de desgastes é o solo aonde a escavadeira vai operar.

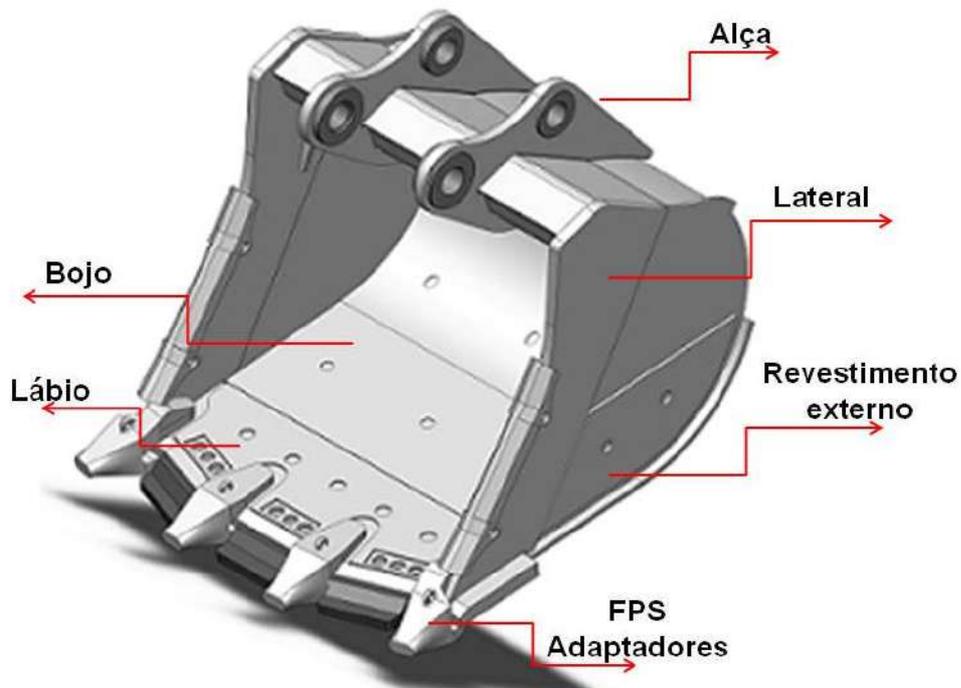
Uma escavadeira que trabalha com solo “macio” e solto tem menor esforço que uma que trabalha escavando bancadas de minério de ferro (alta abrasividade) ou arrancando e movimentando rochas (vários impactos nas pontas e laterais). Isto

impacta diretamente também nos seus materiais de desgastes e ferramentas de penetração no solo.

Por exemplo, a caçamba de escavadeira para rocha requer algumas características que proporcionem maior resistência ao desgaste por abrasão ou por impacto, por isso elas são produzidas em aço estrutural de alta resistência.

A Figura 4.17 mostra detalhadamente as peças que compõe uma caçamba da escavadeira da pesquisa. Esta caçamba é composta de chapas estruturais, também chamadas de “chapa mãe”, chapas de desgaste em todas as suas superfícies que tem contato com o solo para evitar o desgaste das chapas estruturais e principalmente as ferramentas de penetração de solo (FPS) que é a ponta. As chapas estruturais devem ter o menor contato possível com o solo para evitar desgastes que levariam a fabricação de uma caçamba nova.

**Figura 4.17** - Detalhamento dos componentes da caçamba de uma escavadeira hidráulica.



**Fonte:** Próprio Autor

Conforme especificação técnica do fornecedor da caçamba do estudo, os materiais utilizados nas montagens da caçamba estão os descritos na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4 – Detalhamento dos componentes de uma caçamba.**

<b>Componente</b>	<b>Função</b>	<b>Material</b>
Alça	Chapa da estrutura da caçamba que interliga na escavadeira.	USI-SAR-80
Lateral	Chapas reforçadas nas laterais por ter contato com o solo.	USI-SAR-60
Revestimento Externo	Revestimento da caçamba nas laterais e atrás da caçamba em áreas que tem contato direto com o solo.	USI-AR-450
Lábio ou Borda	Parte frontal da caçamba que, depois das pontas, é a segunda área de contato com o solo e que desgasta por abrasão.	USI-AR-450
Adaptador	Ferramenta de penetração de solo que é montado às pontas de desgaste que é o primeiro contato da caçamba com o solo.	USI-AR-450
Bojo	Parte interna da caçamba responsável por receber todo volume de material. Pode ter material de desgaste na parte interna ou externa.	USI-SAR-60

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

Conforme tabela de materiais (Catálogo – Usiminas – Chapas Grossas, 2014), as classes de aços estruturais USI-SAR-60 e USI-SAR-80 envolvem materiais de ultra-alta resistência mecânicas com garantia de tenacidade às baixas temperaturas e desempenho superior na soldagem. São produzidos por laminação controlada e resfriamento acelerado. Normalização ou Têmpera e Revenimento. Caracterizam-se pelo baixo carbono equivalente, o que confere a esta classe uma excelente soldabilidade.

Já o material USI-AR-450 são aços com adições de elementos de liga, temperados, tendo como principal característica a alta dureza, sendo destinados a serviços de alto desgaste mecânico. Nessa classe se encontram materiais que apresentam dureza Brinell na faixa de 360 a 550 HB. Esses aços apresentam, ainda, boa soldabilidade e, em casos especiais, sob consulta, podem ser fornecidos com garantia de impacto *Charpy* a -20°C ou inferior. São aplicados em tratores, retroescavadeiras, caçambas de caminhões fora de estrada, tremonhas, revestimentos de calhas, transportadores de minérios, peças de altos-fornos e ventiladores industriais (Catálogo – Usiminas – Chapas Grossas, 2014).

A borda ou lábio deve apresentar dureza mínima de 345HB a 499HB, a qual se mantém praticamente constante da superfície ao núcleo da caçamba de escavadeira, ou seja, não há degradação da dureza à medida que ocorre o desgaste. As alças são também desenvolvidas com maior força mecânica, aumentando assim a vida útil da caçamba de escavadeira (Catálogo – Usiminas – Chapas Grossas, 2014).

O material usado para a fabricação dos dentes, adaptadores e pontas é um aço com variações de manganês (para aumentar a resistência mecânica do aço), cromo (para aumentar resistência à abrasão) e níquel molibdênio (para aumentar a temperabilidade e tenacidade). A dureza desta material varia, geralmente, entre 400 a 500 HB (Catálogo – Usiminas – Chapas Grossas, 2014).

Outros fornecedores de caçambas para retroescavadeira, carregadeiras e escavadeiras hidráulicas, utilizam materiais de maior resistência ao desgaste, como por exemplo, o HARDOX 450 que apresentam dureza mínima de 345HB a 499HB, a qual se mantém praticamente constante da superfície ao núcleo, ou seja, não há degradação da dureza com o desgaste. Esse tipo de caçamba para retroescavadeira é aplicado em pedreiras, mineradoras, graneiras e qualquer outro tipo de serviço pesado. Para usos gerais como terraplanagens e escavações, a construção da caçamba para retroescavadeira, de carregadeira e escavadeira é feita sem reforço em chapa HARDOX (Catálogo – Usiminas – Chapas Grossas, 2014).

Essas caçambas são usadas em vários modelos de máquinas como: *Fiatallis, Case, New Holland, Michigan, Volvo, Caterpillar, Komatsu, Hyundai, John Deere, Massey.*

A Figura 4.18 apresenta a caçamba objeto de estudo deste trabalho.

**Figura 4.18** - Caçamba em uma escavadeira de grande porte.



**Fonte:** Caçamba para Escavadeira Liebherr R9100 (2014)

#### 4.4 – TIPOS DE DESGASTE

Desgaste é a perda progressiva de substância de uma superfície de um corpo em decorrência do movimento relativo com a superfície. (Gahr, 1987). Segundo Gregolin (1990), o desgaste influi diretamente nos custos de produção devido às necessidades de reposição ou recuperação de peças desgastadas, e também indiretamente nos custos de produção, pela necessidade de superdimensionar componentes e pelas limitações na produção devido a equipamentos deteriorados, além de interrupções imprevistas nas linhas de produção.

De acordo com Eyre (1978), desgaste pode ser definido como a degradação da superfície do componente ou do equipamento, envolvendo remoção progressiva do material, como resultados de processos tribológicos. Ele observou que o todo desgaste do abrasivo é a mais frequente forma de ocorrência em segmentos industriais, contribuindo com cerca de 50% dos problemas industriais envolvendo desgaste.

Já Rigney (2009) define desgaste como sendo o deslocamento ou a remoção de material resultante de processos tribológicos, enquanto que a Norma DIN 50 320 (1997), o faz como sendo a perda progressiva de substâncias de um corpo sólido, causada por ação mecânica, isto é, por contato e movimento relativo de um corpo sólido contra outro corpo sólido, líquido ou gasoso.

Devido à complexidade dos fatores envolvidos nos desgastes, procura-se estabelecer classificações que facilitem o estudo do fenômeno e sua prevenção. Segundo a Norma DIN 50 320 (1997), o desgaste apresenta sob diferentes tipos, sendo mais frequentes: abrasivo, erosivo, fricção, fadiga superficial e desgaste por reação triboquímica.

Em ambientes industriais o desgaste encontrado pode-se apresentar como (porcentagem de ocorrência). De acordo com Albertin (2003) o mecanismo de desgaste que tem maior percentual de perdas de massa verificadas na prática é o desgaste por abrasão, que gira em todo de 50% em relação a todos os outros tipos

de desgastes. Em seguida vem o erosivo com 15%, o de fricção com 8% e o de corrosão com 5%.

É também reconhecida que as resistências às solicitações de desgastes não são propriamente intrínseca de um material, mas sim das características dos sistemas ou do equipamento ao qual o componente está ligado mecanicamente e de seu meio de operação (Martins, 1995).

No trabalho realizado por Passos et al (2010), verificou-se que uma escavadeira da marca *Komatsu*, modelo PC4000, com um conjunto de cinco pontas, em apenas um mês de trabalho (480 horas trabalhadas), teve que trocar 16 conjuntos de novas pontas, devido ao desgastes das mesmas, ou seja, a média de trabalho foi de 30 horas. Estas pontas desgastaram devido à alta abrasividade do solo, juntamente com a capacidade da máquina a penetração.

#### **4.4.1 - DESGASTE DA FPS**

Segundo artigo exposto pela Komatsu na edição 181 da Revista Manutenção & Tecnologia (2014), a principal função dos materiais de desgaste utilizados em caçambas de escavadeiras, retroescavadeiras e pás carregadeiras é proteger o componente estrutural, garantindo-lhe maior vida útil. Esses componentes, também conhecidos como Ferramentas de Penetração de Solo (FPS), melhoram o desempenho da caçamba nas diversas frentes de trabalho, garantindo maior facilidade no fluxo de entrada de material e conseqüentemente aumentando a produtividade do equipamento.

Com o deslocamento das ferramentas de mobilização através do solo, ocorrem diversas interações, decorrentes do atrito entre esses dois elementos, ocasionando a perda de material por parte do equipamento e, conseqüentemente, o seu desgaste. Tal interação provoca alterações nas características geométricas das ferramentas as quais refletirão em maior esforço de tração e dificuldade na execução do trabalho, de forma adequada.

De acordo com Machado et al (2009), embora existam diversos estudos sobre a demanda de tração, pouca importância tem sido dada ao desgaste de ferramentas simétricas de mobilização do solo (ponteiras) como os trabalhos de Mourad e Santos (2003), que construíram um equipamento para a avaliação do desgaste de ferramentas, em função do tipo de solo em condição de laboratório e Espírito Santo (2005) que avaliou, em condições de campo, o desgaste de dois materiais de ponteiras de hastes sulcadoras de semeadoras de plantio direto, devido ao contato direto com o solo.

Entre as diversas formas de desgaste, o principal, encontrado na operação de mobilização do solo, é o desgaste por abrasão, que se constitui na remoção do material da ferramenta devido ao atrito com as partículas do solo. De acordo com Mesquita e Barbosa (2005), o fim da vida das ferramentas normalmente condiciona-se ao desgaste, devido às altas tensões de contato, associadas ao deslizamento relativo da ferramenta, podendo o processo conter partículas de alta dureza na região de deslizamento, causando desgaste por abrasão. Segundo Bhole e Yu (1992), o desgaste abrasivo é o que melhor descreve a remoção de material de uma superfície sólida pela ação do solo.

As características de fricção do solo no aço influenciam o desempenho dos equipamentos, de três maneiras: primeiro, o desgaste se constitui em um problema, tanto no equipamento de preparo do solo como no cultivo devido à natureza abrasiva de muitos solos (Richardson, 1967); em segundo lugar, a força exigida para separar ou mover o solo não só depende das propriedades físicas do solo, mas, também, do atrito solo/equipamento (Hettiaratchi et al., 1966); finalmente, a magnitude do atrito de natureza interna do solo estabelece o grau de abrasividade do solo na interface (Stafford & Tanner, 1977).

De acordo com Baptista e Nascimento (2014), o desgaste de uma ferramenta que atua diretamente no solo, depende de vários fatores, entre eles os atributos do solo e características da ferramenta. Segundo Owsiak, (1997), o desgaste de uma ferramenta de corte do solo está à mercê das condições do solo, dos fatores

operacionais e das características da ferramenta; salienta, ainda, que na prática da pesquisa é muito difícil cobrir simultaneamente todos os fatores de influência sendo que, geralmente, apenas os efeitos de alguns fatores são investigados.

De acordo com Fernandes et al. (2002), o estudo dos mecanismos de desgaste dos materiais utilizados em implementos agrícolas é fundamental para a otimização na escolha dos mesmos e para a previsão da durabilidade de um equipamento.

Ponteiras projetadas inadequadamente são levadas a substituições excessivas; este procedimento se torna dispendioso, pois, além da quantidade de ferramentas utilizadas, demanda em tempo de reposição, que poderia ser utilizado em trabalho efetivo (Espírito Santo, 2005). Verificou-se que, quanto maior o desgaste da ponteira, maior também a força horizontal requerida por esta ferramenta e, conseqüentemente, mais energia deve ser imposta à tração do equipamento e a penetração da ferramenta no solo.

O desgaste de componentes e equipamentos industriais, mineradoras, agrícolas, bem como de inúmeros outros ramos de atividade, representa um fator importante de depreciação do equipamento e de fonte de despesas com manutenção e reposição de componentes mecânicos (Castro, 2010).

O desgaste proporciona diretamente aumento do custo de peças desgastadas e de sua reposição. Muitas vezes exige ainda o super dimensionamento de componentes, a limitação da produção devido aos equipamentos depreciados e a interrupção drástica da produção. Estes fatores influem significativamente sobre as perdas indiretas do rendimento de produção.

Como o desgaste é um fenômeno essencialmente superficial, envolvendo a remoção mecânica indesejável de material de superfícies, as soluções encontradas através de solda de revestimento tem-se mostrado altamente valiosas, tanto para prevenir como para minimizar ou recuperar as diferentes formas de desgaste de metais. Por outro lado torna o tempo de produção bem maior podendo inviabilizar os

revestimentos e deve ser levado em conta no cálculo do custo benefício (Baptista e Nascimento, 2014).

Em inúmeras situações, peças e componentes podem ser fabricados com materiais convencionais, dentro das especificações normais do projeto. Posteriormente, podem-se aplicar sobre a superfície, camadas ou cordões de solda, com consumíveis adequados para resistir às solicitações de desgaste.

Estudos metalográficos observaram que a resistência ao desgaste está diretamente relacionada com as características microestruturais do material. Mourad e Santos, 2003 estudaram a resistência ao desgaste de aços tratados termicamente para vários níveis de dureza e também de alguns metais puros. Para metais puros, a resistência ao desgaste aumenta linearmente com a dureza.

Nos materiais ferrosos, esta relação (resistência ao desgaste X dureza) não é simples. O aumento no teor de carbono faz a resistência ao desgaste aumentar. Já para os aços com a mesma porcentagem de carbono, a resistência ao desgaste de um aço ligado é maior do que de um aço sem liga, mas este aumento é pequeno quando comparado com outro em que aumentou a porcentagem de carbono (Baptista e Nascimento, 2014).

A resistência ao desgaste geralmente aumenta conforme a microestrutura é mudada de ferrita para perlita, desta para bainita e finalmente bainita para martensita; isto, desde que seja acompanhada de aumento de dureza. Entretanto, para um mesmo valor de dureza, a estrutura bainítica tem maior resistência ao desgaste do que a martensítica (Baptista e Nascimento, 2014).

A microestrutura tem maior influência no desgaste do que a dureza da matriz. Tem sido mostrado que a presença de austenita retida tem melhorado a resistência ao desgaste da martensita revenida. A austenita fornece uma melhor ancoragem aos carbonetos, ocasionando um baixo arrancamento do carboneto da matriz austenítica (Baptista e Nascimento, 2014).

Os carbonetos parecem ser particularmente importantes na resistência à abrasão, principalmente em materiais como os aços e ferros fundidos brancos ligados ao Cromo (Cr). A influência deles está relacionada com sua dureza, tamanho e distribuição. Carbonetos duros, e finamente dispersos, aumentam a resistência ao desgaste, enquanto que os grosseiros diminuíam-se-iam.

Na especificação e normalização de ligas para resistir ao desgaste, às maiores dificuldades residem na inexistência de ensaios padronizados, para discriminar os níveis de aceitação ou rejeição, conforme as aplicações particulares.

Estas dificuldades estão associadas principalmente à natureza complexa do fenômeno de desgaste. Este, além de envolver a deformação e corte superficial por partículas abrasivas, ou o atrito entre superfícies metálicas, muitas vezes ocorre devido a vários mecanismos concomitantes de desgaste da superfície, os quais também podem estar associados a outros fenômenos de degradação tais como impacto, corrosão ou fadiga (Dettogni, 2010).

Estruturas deformadas por trabalho a frio, não aumentam a resistência ao desgaste, enquanto que o aumento da dureza pelo refinamento dos grãos agiria favoravelmente.

Para maior facilidade de análise e prevenção, procura-se geralmente identificar o(s) mecanismo(s) predominante(s) de remoção de material. Para tanto, os tipos gerais de desgaste podem ser classificados como (Baptista e Nascimento, 2014):

- a) Desgaste por Abrasão – ocasionado por partículas abrasivas (duras) sob tensão, deslocando-se sobre a superfície;
- b) Desgaste por Erosão – devido ao choque contra a superfície, de partículas sólidas ou gotas líquidas presentes em correntes de fluidos;
- c) Desgaste por Cavitação – associado à formação e implosão de bolhas gasosas em correntes de fluidos, na interface líquida - metal, devido à variação súbita de pressão ao longo do percurso;

- d) Desgaste por Adesão ou Fricção – resultante da fabricação metal - metal, quando superfícies ásperas deslizam entre si;
- e) Desgaste Corrosivo – que envolve a ocorrência de reações químicas superficiais no material, além das ações mecânicas de desgaste;
- f) Desgaste por impacto – ocasionado por choques ou cargas aplicadas verticalmente sobre a superfície.

A Figura 4.19 apresenta uma caçamba com pontas já desgastadas durante uma produção. O desgaste é demonstrado pelo polimento superficial no conjunto de ferramentas e em todas as outras chapas de desgastes soldadas na caçamba.

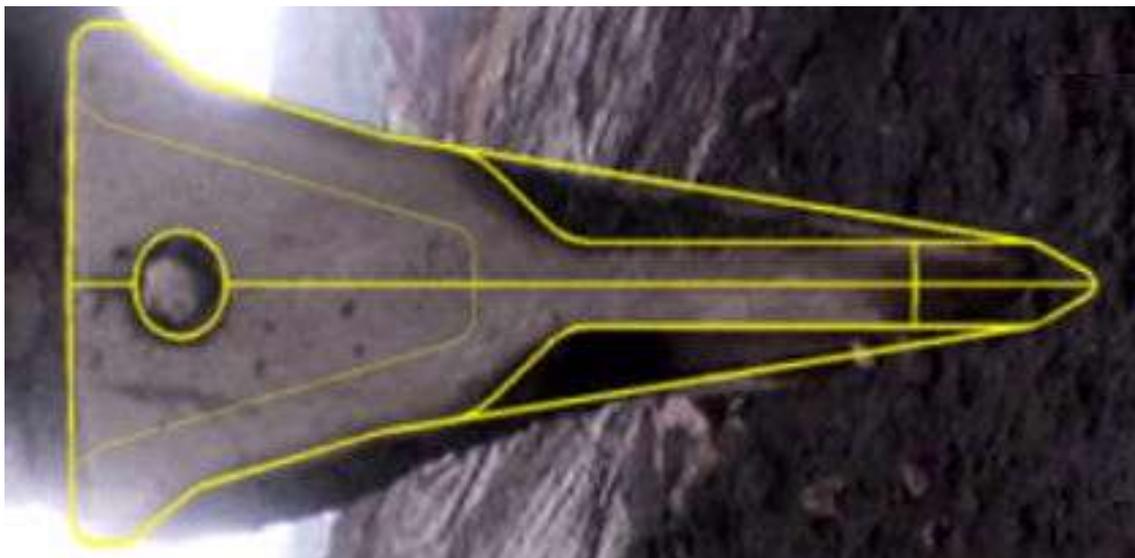
**Figura 4.19** - Caçamba de uma escavadeira em operação.



**Fonte:** Vale (Mina da Mutuca 2011)

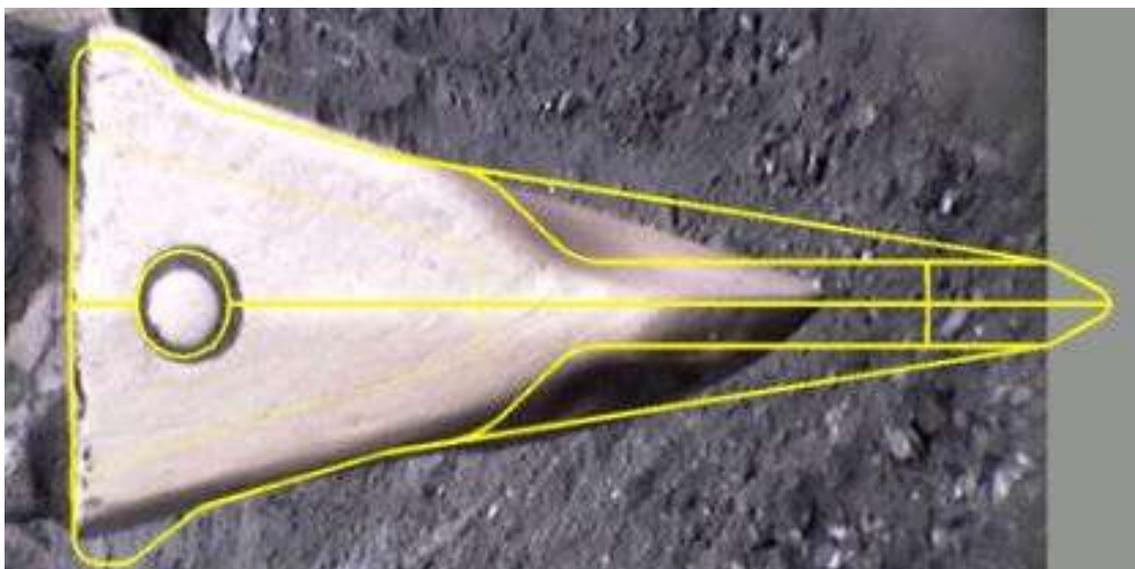
As Figuras 4.20, 4.21 e 4.22 exemplificam que o desgaste progressivo do conjunto de pontas à medida que a escavadeira está em operação. As pontas operaram 160 horas em um solo friável (solo solto com granulometria baixa). As linhas finas demonstram o contorno de uma ponta nova nas Figuras 4.20 e 4.21. Observa-se que as pontas ficam polidas devido ao atrito de um material fino com elas.

**Figura 4.20** - Ponta com 65 horas de operação.



**Fonte:** Vale (Mina de Mutuca 2011)

**Figura 4.21** - Ponta com 113 horas de operação.



**Fonte:** Vale (Mina da Mutuca 2011)

**Figura 4.22** - Ponta com 160 horas de operação.



**Fonte:** Vale (Mina da Mutuca 2011)

A solda de revestimento é um dos maiores campos de aplicação a prevenção, minimização e recuperação de peças e componentes sujeitas ao desgaste por abrasão, e as formas de erosão abrasiva, que são similares ao desgaste por abrasão (Baptista e Nascimento, 2014).

Como o desgaste abrasivo é um fenômeno complexo, no qual partículas ou asperidades duras penetram na superfície dos componentes mecânicos, a grande maioria dos materiais utilizados em aplicações que requerem elevada resistência ao desgaste é do tipo polifásicos. Esses são constituídos, normalmente, de uma fase dura com características próximas às dos materiais cerâmicos, envolvida por uma matriz dútil (Baptista e Nascimento, 2014).

O estudo desses materiais tem mostrado que o tamanho, a distribuição, a dureza, a ductilidade, a tenacidade e a fração volumétrica das fases presentes são parâmetros determinantes no desenvolvimento tribológico (Baptista e Nascimento, 2014).

#### 4.5 - APLICAÇÕES E FORMAS DE FPS DOS EQUIPAMENTOS DE MINA

As Ferramentas de Penetração de Solo são aplicadas em equipamentos de mina. A Figura 4.23 exemplifica esta aplicação em diversas situações de operação e a Figura 4.24 as principais ferramentas que têm contato com o solo a ser trabalhado.

As formas das pontas de escavadeiras e carregadeiras são dimensionadas analisando três pontos importantes: material de desgaste da ferramenta, penetração e impacto.

O formato da ponta, assim como o reforço e a adoção de sistemas de fixação que permitem sua rápida substituição, ajuda a configurar as pontas mais adequadas para cada aplicação. Na mineração as pontas de escavadeiras e carregadeiras têm sua vida útil pequena, ou seja, em torno de 80 a 300 horas, pois o terreno na maioria das vezes é abrasivo danificando-as rapidamente.

**Figura 4.23** - Equipamentos de mineração com as respectivas FPS.



**Fonte:** Vale (Várias Minas 2011)

**Figura 4.24 - Ferramentas de Penetração de Solo.**



**Fonte:** Vale ( Componentes de equipamentos 2011)

A Figura 4.25 apresenta um guia em forma de barras para auxiliar na melhor escolha da ponta em função do tipo de solo que será trabalhado. Quanto maior o comprimento da barra no guia, maior a característica. As pontas são classificadas por três características principais, conforme descrito abaixo:

- a) Material de Desgaste – quanto maior o comprimento da primeira barra (amarela), maior a resistência a desgaste do material ao solo;
- b) Penetração – quanto maior o comprimento da segunda barra (cinza), maior a resistência do material a penetração no solo;
- c) Impacto – quanto maior o comprimento da terceira barra (preta), maior a resistência do material ao impacto com o solo.

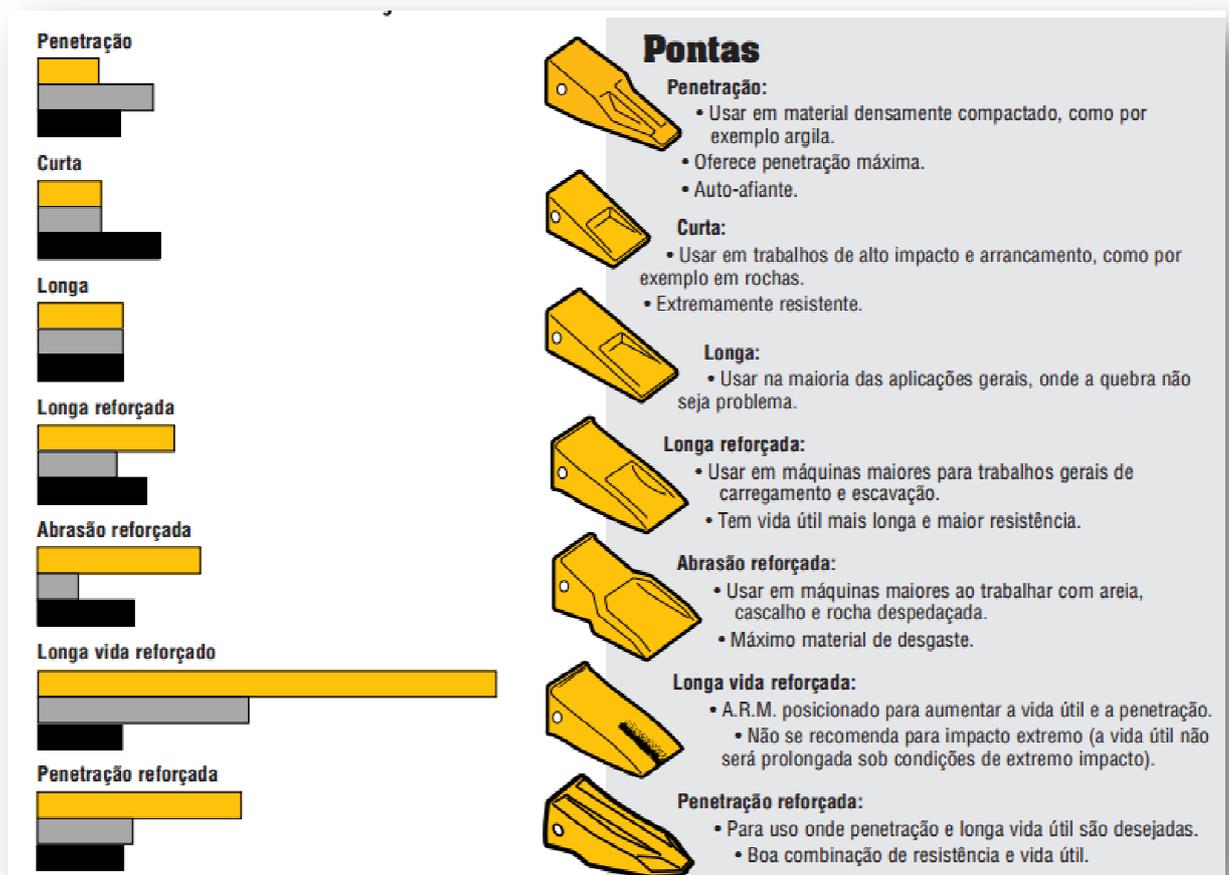
**Figura 4.25** – Guia de seleção de pontas para cada tipo de solo.



Fonte: Sotreq (2014)

As Figuras 4.26 e 4.27 demonstram os formatos das pontas relacionadas com o tipo de solo e as características destacadas no guia. Vão dos mais simples até os mais detalhados. À medida que aumenta cada uma das características, aumenta o custo de cada ponta.

**Figura 4.26** – Pontas relacionadas com o tipo de solo.



Fonte: Sotreq (2014)

Figura 4.27 – Pontas relacionadas com o tipo de solo.



Fonte: Sotreq (2014)

#### 4.6 - MATERIAIS UTILIZADOS EM FERRAMENTA DE PENETRAÇÃO DE SOLO

Para atender as aplicações específicas como ambientes altamente abrasivos, são adicionadas quantidades determinadas de elementos de liga diferentes daqueles normalmente utilizados nos aços comuns, formando os aços-liga.

Estas quantidades de elementos de liga são definidas com o objetivo de promover mudanças nas propriedades físicas e mecânicas do aço que permitam ao material desempenhar funções específicas para cada aplicação. Cada produto apresenta características físicas químicas e mecânicas.

Conforme especificado pelo Guia de Compras 2014 – Siderurgia Brasileira e Metais Não Ferrosos, página 121, os principais elementos de ligas adicionados com sua respectiva influência nas propriedades físicas e mecânicas do aço são:

- a) Carbono – C – Ponto de fusão 3.650°C. É o principal elemento de liga no aço. Por definição, “Aço é a liga ferro-carbono, contendo até 2,11% do peso em carbono.” No aço o carbono encontra-se misturado no ferro ou na forma de carbonetos de maior dureza com o ferro, formando a cementita ou  $Fe_3C$ , ou com outros elementos, tais como o cromo, molibdênio ou vanádio. Portanto, pode-se dizer que a principal propriedade conferida ao aço pelo carbono é a dureza. Aumenta, também, o limite de resistência à tração e a temperabilidade, mas diminui a tenacidade e soldabilidade.
- b) Cromo – Cr - Ponto de fusão 1.860°C. Elemento que favorece a formação de carbonetos em um aço. Por conseguinte, aumenta a dureza e a resistência à tração do aço. Aumenta, também, a temperabilidade e a resistência à corrosão, inclusive atmosférica, mas diminui um pouco a tenacidade e bastante a soldabilidade. Em média, o limite de resistência à tração aumenta 8 a 10kg/mm<sup>2</sup> com a adição de 1% de cromo, mas a resistência ao impacto diminui. É o principal elemento de liga no aço inoxidável comum, quando é utilizado em teores a partir de 11%.
- c) Manganês – Mn – Ponto de fusão 1.244°C. Aumenta a temperabilidade, a soldabilidade e o limite de resistência à tração. Elemento estabilizador da austenita, também altera a temperatura de transformação do aço, permitindo obter refino de grão e melhoria da tenacidade durante a conformação a quente. Em condições específicas de processamento, auxilia na geração de uma estrutura bandada. Combina-se com o enxofre formando sulfeto de manganês (MnS) que se alonga durante a conformação plástica, e caso ocorra em grandes quantidades gera fragilidade no aço final. Em presença de carbono maiores teores de manganês aumentam muito a resistência à abrasão sendo esta a base dos aços *Hadfield*.
- d) Molibdênio – Mo – Ponto de fusão 2.620°C. Aumenta a resistência a quente e, em presença do níquel e do cromo, aumenta o limite de resistência à tração e o limite de escoamento. O molibdênio dificulta o forjamento, melhora a temperabilidade, a resistência à fadiga e propriedades magnéticas. Exerce notável influência nas propriedades da solda. É

elemento formador de carbonetos. Em aços rápidos, aumenta a tenacidade, mantendo as propriedades de dureza a quente e retenção de corte. Substitui o tungstênio para a formação de carbonetos, na proporção de 1% de molibdênio para 2% de tungstênio.

- e) Silício – Si – ponto de fusão 1.410°C. Eleva os limites de escoamento de resistência dos aços. Elemento estabilizador da ferrita e assim reduz a formação de carbonetos, auxiliando na decomposição da cementita ( $Fe_3C$ ) em ferrita. Prejudica o alongamento, a tenacidade, a condutividade térmica e a usinabilidade, mas aumenta a resistência à corrosão atmosférica. Um aço pode ser considerado aço ao silício somente quando o teor deste elemento for superior a 0,60%. Os aços ao silício apresentam boa capacidade de têmpera, por ter reduzida velocidade crítica de resfriamento. Chapas de aço laminados a frio com baixos teores de carbono e altos teores de silício possuem maiores permeabilidades magnéticas, sendo utilizadas em motores e transformadores elétricos.
- f) Níquel – Ni – Adição de níquel confere ao aço maior penetração de têmpera, pois diminui consideravelmente a velocidade crítica de resfriamento. Quando ligado ao cromo, aumenta a tenacidade do aço beneficiado. Em grandes quantidades, junto ao cromo, torna o aço resistente à corrosão e ao calor. Influencia diretamente para que o grão se torne mais fino.

Os aços-liga são vulgarmente designados pelo nome do elemento ou elementos que exercem influências nas suas características, independentemente do seu teor ou teores que entram na composição, denominando-os de:

- a) Aço - Níquel;
- b) Aço - Níquel - Cromo;
- c) Aço - Manganês;
- d) Aço - Molibidênio;
- e) Aço - Cromo - Níquel - Molibidênio;

Pode-se dizer, portanto, que as ferramentas de penetração no solo são formadas por ligas que têm como objetivo conferir dureza, ductilidade e resistência à abrasão. O fabricante de FPS deve procurar o equilíbrio entre estas três características, podendo ser modificadas conforme sua utilização.

Usualmente alguns fabricantes fazem opção observando três parâmetros: Dureza; resistência ao desgaste e penetração. O ideal é que o material consiga resistir a estes três parâmetros e também a variação de solos que ocorrem em todas as minerações.

#### **4.7 - REVESTIMENTOS DUROS RESISTENTES AO DESGASTE**

Para a recuperação dos componentes afetados pela perda de metal (desgaste) durante o ciclo de produção é realizada a aplicação de revestimento duro por soldagem utilizando-se vários consumíveis, técnicas e processos.

As ligas metálicas aplicadas por soldagem em superfícies, objetivando a proteção contra o desgaste e o consequente aumento da vida útil de peças e equipamentos, têm sido utilizadas em larga escala nas indústrias de bens de consumo e nos setores de mineração e sucroalcooleiro (Leite e Marques, 2009).

Para a aplicação do revestimento duro por soldagem, os arames tubulares têm sido uma alternativa cada vez mais viável, devido à sua alta produtividade e qualidade de solda, substituindo, em parte, o uso do eletrodo revestido.

Recobrimento duro é o nome dado ao processo que consiste em produzir por soldagem uma camada dura e resistente ao desgaste na superfície da peça sujeita a desgaste. O processo pode ser aplicado a peças novas e também e também na recuperação de peças desgastadas pelo uso. É um processo de aplicação simples, necessitando apenas das varetas das ligas de recobrimento e de uma chama oxiacetilênica ou de um arco elétrico. O recobrimento duro pode ser aplicado à maioria dos metais não ferrosos. Por outro lado, com algumas exceções, não se

recomenda o recobrimento de ligas não ferrosas com o ponto de fusão inferior a 1100°C (Baptista e Nascimento, 2014).

Os aços carbonos podem ser recobertos com relativa facilidade, em especial se o teor de carbono for inferior a 0,35%.

A soldagem se torna mais difícil à medida que o teor de carbono aumenta, sendo que os aços de alto carbono e os aços ligados devem sofrer um pré- aquecimento e após recobrimento devem ser recozidos.

Os aços inoxidáveis, os ferros fundidos e os aços rápidos também podem ser recobertos, utilizando-se técnicas adequadas na soldagem. Os aços podem ser recobertos por soldagem, já o cobre, latões e bronzes apresentam maiores dificuldades em vista de seus pontos de fusão baixos e de sua alta condutividade.

#### **4.8 - CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS PARA RECOBRIMENTO DURO**

De acordo com Baptista e Nascimento através do Metals Handbook, 1964, os materiais para recobrimento duro são classificados em cinco grandes grupos (Tabela 4.5), em função do teor total de elementos de liga.

Em geral, a resistência ao desgaste e o custo crescem com o número do grupo. A escolha de uma liga específica dependerá da aplicação e do tipo de soldagem utilizado. As ligas do grupo 1A são aços de baixo teor de liga, quase sempre tendo cromo como principal elemento de liga. O teor total dos elementos de liga, incluindo o carbono, fica entre 2% e 6%. Estas ligas são empregadas frequentemente como uma camada de base para um recobrimento duro com ligas de teor de liga mais elevado.

As ligas ferrosas do subgrupo 1B são semelhantes às do grupo 1A, porém com maior teor de elementos de liga (6% a 12%) e com teor de carbono até 2% ou mais. Muitos aços- ferramenta e alguns ligados fazem parte deste grupo.

Os materiais do grupo 1 apresentam maior tenacidade entre as ligas de recobrimento duro, executando-se os aços - manganês austeníticos. Possuem também melhor resistência ao desgaste que os aços de baixo e médio carbono, que são as ligas usualmente recobertas pelo grupo 1.

São mais baratos que as outras ligas de recobrimento duras e muito empregadas nos casos em que se necessita da usinabilidade e de apenas um aumento moderado da resistência ao desgaste.

As ligas do subgrupo 2A são ligas em que o principal elemento de liga é o cromo, com teor total de elemento de liga entre 12% e 15%. Algumas ligas têm um pequeno percentual de molibdênio. Este grupo inclui ainda alguns não ferros fundidos de médio teor em liga. O molibdênio é o principal elemento de liga em quase todos os materiais do grupo 2B, que contam também com teores relativamente altos de cromo.

O subgrupo 2C é constituído pelos aços - manganês austeníticos. Manganês é o principal elemento de liga, estando também presentes o níquel, para maior estabilização da austenita.

As ligas dos subgrupos 2A e 2B são mais resistentes ao desgaste, menos tenazes e mais caras que os materiais do grupo 1. Já os subgrupos 2C e 2D são muito tenazes, porém apresentam limitada resistência ao desgaste, que pode ser muito aumentada pelo encruamento. As ligas do subgrupo 2D possuem um teor total de elementos de liga entre 30% e 37%, variando o carbono entre 0,10% e 1%.

Os materiais de grupo 3 apresentam 25% a 50% de elementos de liga. São ligas com alto cromo, várias delas com níquel e/ou molibdênio. Os teores de carbono variam entre 1,75% a 5%. Este grupo é caracterizado pela presença maciça de carbonetos hipereutéticos, que conferem às ligas uma alta resistência ao desgaste e uma razoável resistência à corrosão e ao calor. São ligas mais caras que as dos grupos 1 e 2.

**Tabela 4.5 – Classificação dos materiais para recobrimento duro.**

	<b>Teor Total Elementos Liga %</b>	<b>Elementos de Liga Principais</b>
Materiais Ferrosos de Baixa Liga		
1 A	2 a 6	Cr, Mo, Mn
1 B	6 a 12	Cr, Mo, Mn
Materiais Ferrosos de Alta Liga		
2 A	12 a 15	Cr, Mo
2 B	12 a 25	Mo, Cr
2 C	12 a 25	Mn, Ni
2 D	30 a 37	Mn, Cr, Ni
3 A	25 a 50	Cr, Ni, Mo
3 B	25 a 50	Cr, Mo
3 C	25 a 50	Co, Cr
Ligas à base níquel e cobalto		
4 A	50 a 100	Co, Cr, W
4 B	50 a 100	Ni, Cr, Mo
4 C	50 a 100	Cr, Ni, Mo
Carbonetos		
5	75 a 96	WC ou WC em combinação com outros carbonetos.

**Fonte:** Metals Handbook, v.2, 1964

O grupo 4 compreende as ligas à base de cobalto e à base de níquel com teor total de elementos não ferrosas entre 50% e 99%. As ligas à base de cobalto, subgrupo 4A, são consideradas como os mais versáteis materiais de recobrimento duro. Resistem ao calor, à abrasão, à corrosão, ao impacto, à descamação, à oxidação, ao choque térmico, à erosão e ao desgaste metal - metal.

Algumas destas ligas mantêm uma dureza elevada até 825°C e resistem à oxidação até temperaturas da ordem 1100°C. As ligas à base de níquel, subgrupo 4B, são

especialmente indicadas para peças sujeitas ao mesmo tempo à corrosão e ao desgaste. São superiores a outros materiais de revestimento duro em aplicações nas quais o desgaste é causado pelo contacto metal - metal, como no caso de mancais. Mantêm durezas elevadas até cerca de 650°C e resistem à oxidação até temperaturas da ordem de 875°C.

Os materiais do grupo 5 consistem de grânulos duros de carbonetos distribuídos em uma matriz metálica. São muito indicados para aplicações de abrasão intensa e de corte. Inicialmente se empregavam apenas os carbonetos de tungstênio. Mais recentemente, outros carbonetos, principalmente titânio, tântalo e cromo, passaram a ser usados com bons resultados.

Como matriz metálica, vários materiais têm sido utilizados, tais como ferro, aço - carbono, ligas à base de níquel, à base de cobalto e bronzes. Os materiais do grupo 5 possuem a máxima resistência à abrasão em peças sujeitas a impactos pequenos ou moderados.

#### **4.9 - SELEÇÃO DO MATERIAL PARA RECOBRIMENTO DURO**

A primeira medida é caracterizar bem as condições de serviço nas quais deverá trabalhar o revestimento duro. Em seguida deve-se analisar com cuidado as interações dos materiais candidatos e do metal base, bem como o processo de soldagem a ser usado no revestimento. Um guia geral para a seleção de ligas de revestimento duro, preparado pelo Metals Handbook, é reproduzido na Tabela 4.6.

Para a seleção adequada, os seguintes pontos devem ser observados (Baptista e Nascimento, 2014):

- a) Analisar as condições de serviço para determinar os tipos de resistência ao desgaste e de resistência ao ambiente necessário;
- b) Selecionar alguns materiais candidatos;

- c) Analisar a compatibilidade entre estas ligas e o metal base, inclusive fazendo considerações sobre tensões térmicas e eventuais trincamentos;
- d) Testar componentes recobertos com os materiais candidatos;
- e) Selecionar a melhor liga, considerando tanto o custo como a duração do recobrimento.

**Tabela 4.6 – Guia para a seleção de ligas para recobrimento duro.**

<b>Condições de Serviço</b>	<b>Materiais para Recobrimento Duro</b>
Escorregamento metal-metal; altas tensões de contato	Stellite1, ligas Tribaloy
Escorregamento metal-metal; baixas tensões de contato	Aços de baixa liga para recobrimento duro
Escorregamento metal-metal combinado com corrosão e oxidação	Ligas à base cobalto ou de níquel, dependendo da agressividade do ambiente
Abrasão sob baixa tensão; erosão por colisão de partículas com pequeno ângulo	Ferros fundidos de alta liga
Abrasão severa sob baixa tensão, retenção do gume	Materiais com altos teores de carbonetos
Erosão por cavitação e por colisão	Ligas à base de cobalto
Choques mecânicos intensos	Aços-manganês de alta liga
Choques mecânicos intensos combinados com corrosão ou oxidação	Stellite 21, Stellite 6
Abrasão por sulca – Descamação	Aços – manganês de austenísticos Stellite 21, Stellite 6, Tribaloy T-400, Tribaloy T-800
Estabilidade térmica e/ou resistência à fluência à altas temperaturas	Ligas à base de cobalto, ligas de níquel com carbonetos

**Fonte:** Metals Handbook, v.2, 1964

Selecionar o processo de recobrimento duro, considerando a taxa de deposição, o grau de diluição (o metal base dilui a liga de recobrimento durante a soldagem), eficiência de deposição e custo total. O custo total inclui o preço dos eletrodos e o processamento.

#### **4.10 - TIPOS DE REVESTIMENTO**

O Revestimento através do processo de soldagem é uma técnica utilizada para proteção superficial ou para aumentar a resistência do material ao desgaste por abrasão quando um equipamento está em condições severas de operação. O processo consiste em depositar sobre as peças e componentes, materiais resistentes às solicitações a que o material estará sujeito.

A diluição garante que o revestimento permaneça com as propriedades da liga a ser depositada e prolonga a vida útil da peças ou componente. A quantidade de material de adição que é depositado deve ser suficiente para garantir uma ligação metalúrgica.

Os tipos de revestimento mais aplicados em soldagem podem ser classificados em:

- a) Endurecimento superficial (*hardfacing*): Este processo é a deposição de um material duro e resistente ao desgaste na superfície de um material menos nobre (substrato) através de um processo de soldagem. Como principal função é de reduzir o desgaste, ou seja, a perda de material por abrasão, impacto, erosão, cavitação ou qualquer outra deterioração por atrito (Davis 1993).

O endurecimento superficial também é muito utilizado para controlar a combinação desgaste / corrosão (Davis 1993). Outro fator se dá quando uma liga é homogeneamente depositada por soldagem sobre a superfície de um

material mole (aço baixo ou médio carbono) a fim de aumentar sua dureza e resistência ao desgaste sem provocar perda significativa de tenacidade ou ductilidade no substrato. É aplicado para reduzir desgaste, abrasão, impacto, erosão, galling ou cavitação.

Segundo Hutchings (1992), entende-se por revestimento duro, uma liga homogeneamente depositada por soldagem, na superfície de um material mole, geralmente um aço de baixo ou médio carbono, com o propósito de aumentar a sua dureza e resistência ao desgaste, sem provocar perda significativa de ductilidade e tenacidade do substrato.

Conde (1986) afirma que os revestimentos duros são empregados com o fim de reduzir o desgaste por abrasão, erosão, impacto ou cavitação.

- b) Revestimento de recuperação (*build up*): Trata da adição de metal por soldagem a fim de restaurar as dimensões originais do componente. Nesse caso a resistência da solda é o pré-requisito mais importante do projeto. Refere-se à adição de metal por soldagem, na superfície do metal base, com o objetivo de restaurar as dimensões originais no componente. A resistência da solda é um importante pré-requisito que deve ser considerado no projeto (Conde, 1986).
  
- c) Revestimento de aços inoxidáveis (*cladding*): Consiste na aplicação, através de soldagem, de um metal resistente à corrosão sobre outro metal cuja resistência à corrosão é inferior ou não foi considerada no projeto. São utilizados, geralmente, para depositar uma chapa de metal de aporte sobre um aço ao carbono de baixa liga com o propósito de prover na superfície uma proteção contra a corrosão ambiental, quando em geral, a resistência do revestimento não é incluída no projeto do componente. Este tipo de revestimento pode ser aplicado para resistir à corrosão localizada (“pitting”), gretas de corrosão, corrosão intergranular e corrosão de baixas tensões (Lima, Aldemi, 2008).

A resistência à corrosão do revestimento, em muitos casos, é o fator limitante na vida do componente, sendo, portanto, a primeira consideração a ser levado em conta para selecionar a liga, o processo de soldagem e o procedimento a utilizar (Conde, 1986).

- d) *Amanteigamento (buttering)*: Método de revestimento que provê uma camada de solda de alta ductilidade antes da soldagem propriamente dita. Aplicação de um ou mais passes de solda na face da junta. A diferença do caso anterior está no fato de ser usado por razões metalúrgicas e não por controle dimensional. Um exemplo clássico é a deposição de ligas de alto níquel sobre uma base de aço de baixa liga. A parte amanteigada pode ser usada na condição como soldada ou sofrer tratamento térmico posterior para a obtenção de propriedades especiais (Conde, 1986).

## **CAPÍTULO 5**

### **5 - METODOLOGIA**

De acordo com o objetivo proposto para este projeto de pesquisa o qual envolve análise de desenvolvimento de pontas de escavadeiras de grande porte, com e sem revestimento de material duro, os seguintes aspectos gerais foram levados em consideração:

- a) Levantamento dos dados das escavadeiras e carregadeiras existentes na mineradora, que trabalham com pontas de penetração no solo, para direcionar a ponta que tem maior custo.
- b) Avaliação dos formatos de pontas existentes no mercado de mineração e definição da ponta que apresenta melhor desempenho para trabalhar nos solos das minas;
- c) Definição dos materiais de FPS desenvolvidos no mercado para as características de solos em estudo, alterando ligas do aço para melhorar a resistência a impacto e ao desgaste;
- d) Aplicação do revestimento duro utilizando o processo de soldagem por eletrodo revestido com o objetivo de aumentar a dureza e a resistência ao desgaste das pontas.

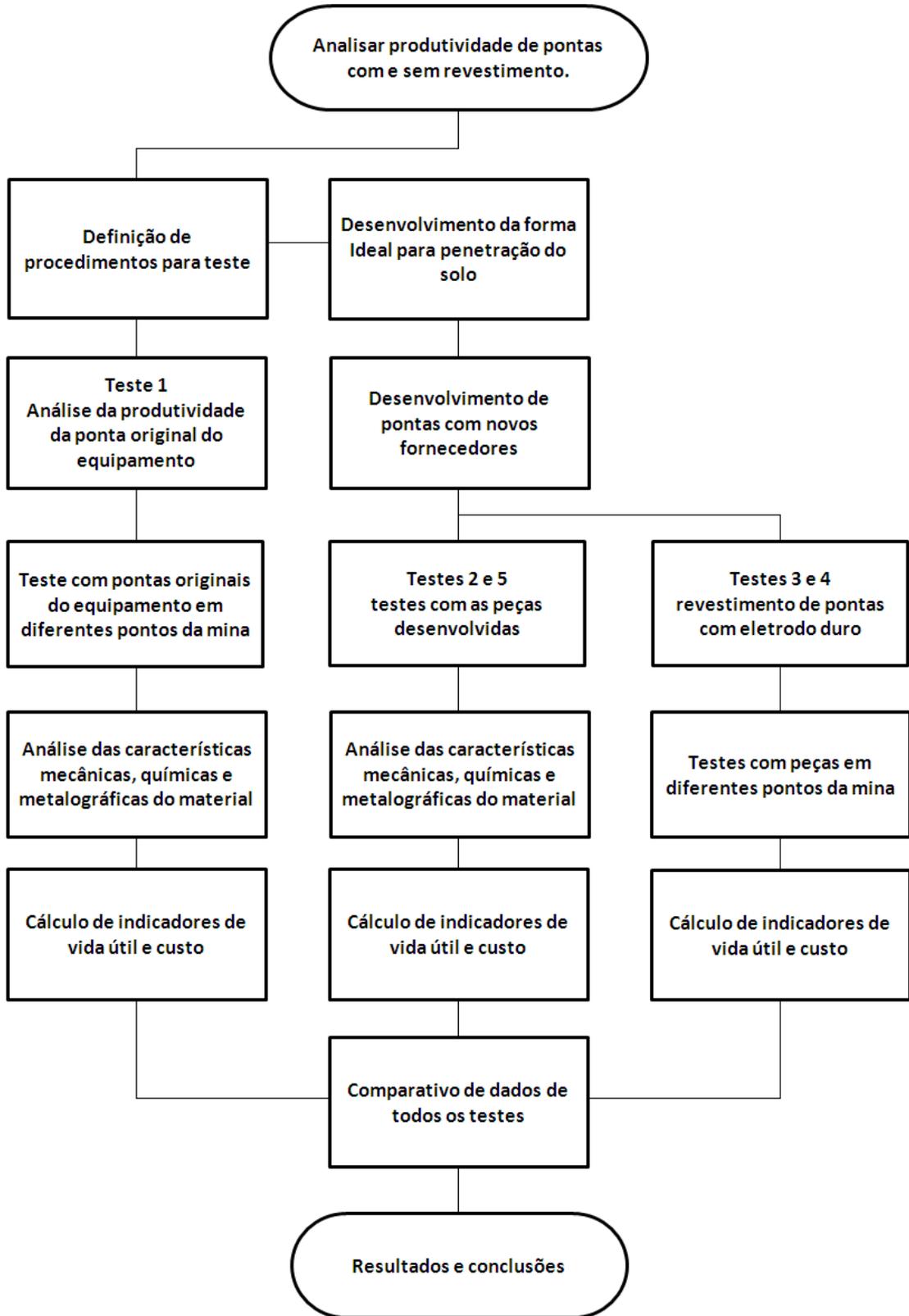
#### **5.1 - COLETA INICIAL DE DADOS**

Baseado nas informações geradas pelo banco de dados do software que a empresa utiliza para controle das peças nos equipamentos iniciou-se uma análise dos conjuntos de pontas que tiveram maior custo no período de um ano de operação. Neste primeiro momento não foi avaliado a vida útil de cada ponta.

O Software que a empresa utiliza para gerar estes dados é um software comercial chamado de Software SAP. Através dos dados deste Software foi possível verificar os valores, as quantidades e as horas trabalhadas por cada conjunto de pontas.

A Figura 5.1 apresenta a sequência de testes no fluxograma experimental.

**Figura 5.1 – Fluxograma experimental**



Fonte: Próprio autor

## 5.2 – DEFINIÇÃO DE PROCEDIMENTOS PARA TESTES

De acordo com a coleta de dados inicial, a Tabela 5.1 apresenta as frotas de equipamentos escolhidos como objeto de estudo. São escavadeiras (código ESC) e carregadeiras (código CR) que são utilizadas nas minas em várias operações e solos. Têm-se as seguintes características:

- a) Definidas pelos modelos e seus respectivos pesos em toneladas
- b) Compostas de 2 a 5 equipamentos por frota.
- c) Os equipamentos têm no seu conjunto de 04 a 08 pontas, conforme destacado na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1** - Equipamentos da mineração que contem as FPS do estudo.

<b>Modelo</b>	<b>Qtde</b>	<b>Grupo</b>	<b>Pontas por Conjunto</b>
Carregadeira 25 ton	5	CR	08
Carregadeira 50 ton	5	CR	08
Carregadeira 78 ton	2	CR	08
Escavadeira 41 ton	3	ESC	05
Escavadeira 75 ton	2	ESC	04
Escavadeira 80 ton	3	ESC	04
Escavadeira 110 ton	4	ESC	04

**Fonte:** Próprio Autor

Após o levantamento de dados, o equipamento que apresentar o maior custo para a empresa em um ano de operação, é escolhido para o estudo. O custo dos itens está relacionado com todos os equipamentos da frota. Definido a frota de maior custo, iniciam-se os testes de produtividade.

Os equipamentos adquiridos pela mineração trabalham com um conjunto de pontas originais que muitas vezes não condizem com o solo a ser trabalhado. Os testes foram realizados em um mesmo equipamento da frota. A única diferença nos testes realizados está nos solos da mina, visto a diversidade encontrada. Após definido o equipamento de estudo foi definido alguns procedimentos para testes:

- a) Escolha de uma entre as máquinas da frota para teste para todos os testes;
- b) Instalação de conjunto de pontas coletando o horímetro inicial;
- c) Operação normal de produção em diversos locais até a necessidade de troca;
- d) Acompanhamento do comprimento e largura das pontas até elas atingirem o ponto de retirada da máquina;
- e) Na troca do conjunto por um novo, coletar o horímetro atual para cálculos de vida útil e custo do conjunto anterior desgastado. Utiliza-se o horímetro inicial para o próximo conjunto instalado;
- f) Devido à variedade de solos, cada teste foi realizado com 11 conjuntos de pontas, o que dura em média três meses de operação;
- g) Envio de amostras de pontas, uma nova e outra desgastada para análise;
- h) Análise das características mecânicas da ponta nova através do testes de tração, dureza e peso inicial;
- i) Análise das características químicas da ponta nova informando os elementos presentes na amostra;
- j) Análise das características micro gráficas da ponta nova para avaliar a estrutura do aço;
- k) Comparativo de indicadores de vida útil e custo por hora trabalhada destacados no item 5.2.1;
- l) Comparativo entre as características dos testes.

É importante destacar que o horímetro é o instrumento instalado no equipamento para informar as horas de operação do equipamento. Ele inicia a contagem somente com o equipamento “ligado”, ou seja, assim que se aciona o motor diesel. Quando o equipamento é desligado, o horímetro para a contagem.

Os cinco testes realizados nos conjuntos de pontas são:

- 1) Teste com o conjunto de pontas originais do equipamento;
- 2) Primeiro teste de desenvolvimento de conjunto de pontas novas modificando-se a forma e o material;
- 3) Primeiro teste com revestimento de material duro com espaçamento entre os cordões efetuado na ponta desenvolvida no item “2” acima;
- 4) Segundo teste com revestimento de material duro sem espaçamento entre os cordões efetuado na ponta desenvolvida no item “2” acima;
- 5) Segundo teste de desenvolvimento de conjunto de pontas novas modificando-se a forma e o material.

O procedimento completo de testes foi seguido em três deles (testes 1, 2 e 5). Nestes três testes temos desenvolvimento de materiais / formas, sendo o primeiro original do equipamento. Os outros dois testes (3 e 4) são apenas de revestimento superficial com eletrodo de material duro e não são necessários os passos “h”, “i” e “j” do procedimento, visto que o revestimento é feito em uma ponta desenvolvida.

### **5.2.1 - INDICADORES PARA ANÁLISE DE VIDA ÚTIL E CUSTO**

O trabalho envolveu a realização de cálculos matemáticos para que pudesse definir o melhor custo / benefício das pontas escolhidas e a vida útil do conjunto. Os mesmos foram realizados com o auxílio das equações abaixo. Estas fórmulas são usadas constantemente nas minerações para se avaliar estes indicadores, visto que, conforme informado anteriormente estão entre os maiores custos do ramo.

$$VU = \frac{HT}{Q}$$

$$CT = \frac{R\$}{HT}$$

Onde:

VU = Vida útil das pontas (horas);

CT = Custo do conjunto por hora trabalhada do equipamento. (reais por horas trabalhadas);

HT = horas trabalhadas das pontas pelos conjuntos;

Q = Quantidade de jogos de pontas (unidade);

R\$ = Média de custo realizado nas pontas da frota de escavadeira (reais).

### **5.3 - TESTE 1 – PONTA ORIGINAL**

#### **5.3.1 - ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DA PONTA ORIGINAL DO EQUIPAMENTO**

Definido o equipamento que apresentou o maior custo e escolhido um equipamento da frota, iniciou-se os testes conforme procedimento informado no item 5.2 com o conjunto de pontas originais que já operam com o equipamento. Após os testes de campo, duas pontas, uma nova e uma já desgastada foi analisada em laboratório para coletar as características mecânicas, químicas e micrografias do material. Calculado também os dois indicadores de mineração (conforme item 5.2.1) para verificar o custo benefício.

#### **5.3.2 – TESTE COM PONTAS ORIGINAIS DO EQUIPAMENTO EM DIFERENTES PONTOS DA MINA.**

Devido à grande variação de solo, existe uma variação na vida útil das pontas, que gira em torno de 50 horas para solos mais compactados e de alto atrito e de 300 horas para solos friáveis (soltos) e com baixo atrito.

Nas Figuras 5.2 e 5.3 podem-se verificar as diferenças entre os dois solos que as escavadeiras e carregadeiras trabalham, ou seja, respectivamente solos mais compactados e de alto atrito e solos friáveis (soltos) e com baixo atrito.

**Figura 5.2** - Escavadeira trabalhando em solos mais compactados e de alto atrito.



**Fonte:** Mineração Usiminas – Mina Oeste – Itatiaiuçu - 2013

**Figura 5.3** - Escavadeira trabalhando solos friáveis (soltos) e com baixo atrito.



**Fonte:** Mineração Usiminas – Mina Oeste – Itatiaiuçu - 2013

Conforme demonstrado na Figura 5.2, o solo é muito compactado, com várias rochas, ocasionando maiores impactos e abrasão, desgastando o conjunto que pode durar apenas 50 horas. Já a Figura 5.3 o solo está totalmente solto, reduzindo impactos e abrasividade e aumentando a vida útil que pode chegar a 300 horas.

### **5.3.3 – ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS, QUÍMICAS E METALOGRÁFICAS DO MATERIAL.**

Abaixo segue as Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4 que foram preenchidas durante os testes para informar as características Mecânicas, Químicas e Metalográficas respectivamente dos conjuntos de ponta testados. Depois de coletados as informações dos testes 1, 2 e 5, os valores foram comparados em uma só tabela para avaliar os resultados.

**Tabela 5.2** – Tabela com características mecânicas do material.

<b>Descrição</b>	<b>Valor</b>
Resistência a Tração (MPa)	
Resist. Escoamento (MPa)	
Alongamento (%)	
Estricção (%)	
Dureza Inicial (HB)	
Dureza Final (HB)	
Peso Inicial (Kg)	

**Fonte:** SENAI – Itaúna CETEF Marcelino Corradi - 2013

**Tabela 5.3 – Composição química do material em % do peso.**

<b>Descrição</b>	<b>Valor</b>
C – Carbono (%)	
Si – Silício (%)	
Mn – Manganês (%)	
Cr – Cromo (%)	
Mo – Molibdênio (%)	
Ni – Níquel (%)	

**Fonte:** SENAI – Itaúna CETEF Marcelino Corradi - 2013

**Tabela 5.4 – Análise Micrográfica das FPS.**

<b>Descrição</b>	<b>Característica</b>
Tipo de Aço	
Tratamento Térmico	
Micro estrutura	
Observação	

**Fonte:** SENAI – Itaúna CETEF Marcelino Corradi - 2013

#### **5.3.4 – CÁLCULO DE INDICADORES DE VIDA ÚTIL E CUSTO.**

Os indicadores foram inseridos na Tabela 5.5 para posteriormente ser comparado com os demais materiais.

**Tabela 5.5** - Custo e vida útil das pontas.

<b>Ponta</b>	<b>Quantidade de Conjuntos</b>	<b>Custo (R\$ / HT)</b>	<b>Vida útil (HT / Q)</b>
Ponta Original			

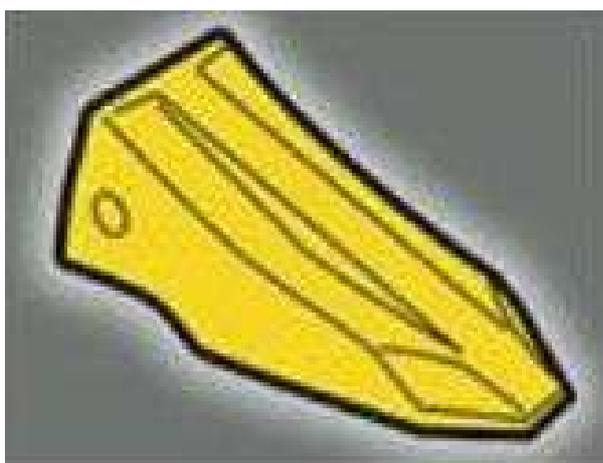
**Fonte:** Próprio autor

#### **5.4. - DESENVOLVIMENTO DA FORMA IDEAL PARA PENETRAÇÃO NO SOLO**

Como já foi dito anteriormente existe no mercado uma grande variedade de formatos de pontas. Para solos de mineração têm-se três pontas que se destacam por elas apresentarem boa resistência ao desgaste e boa resistência ao impacto, sendo estas resistências bem superiores às demais.

A Figura 5.4 apresenta a ponta de penetração reforçada. Esta ponta tem como vantagem a excelente penetração no solo, além de boa resistência mecânica e boa resistência ao impacto. Embora tenha estas vantagens esta ponta não tem uma vida útil elevada se comparada com outras pontas.

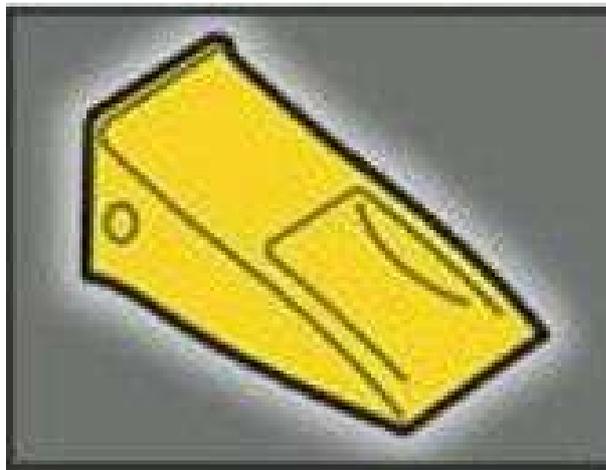
**Figura 5.4** – Ponta de penetração reforçada.



**Fonte:** [http://carajasmxxi.com.br/pecas\\_fps\\_pontas.htm](http://carajasmxxi.com.br/pecas_fps_pontas.htm), 2014

A Figura 5.5 apresenta a ponta de longa vida reforçada. Esta ponta tem como vantagem boa resistência mecânica e boa resistência ao impacto. Como desvantagem apresenta pouca penetração em relação às outras pontas.

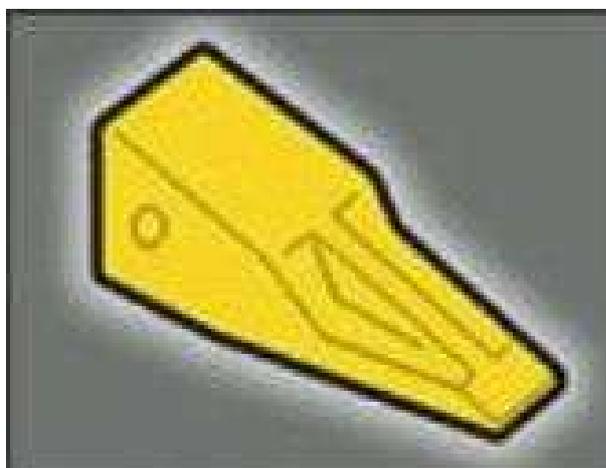
**Figura 5.5** – Ponta de longa vida reforçada.



Fonte: [http://carajasmxxi.com.br/pecas\\_fps\\_pontas.ht](http://carajasmxxi.com.br/pecas_fps_pontas.ht), 2014

A Figura 5.6 apresenta a ponta de longa vida penetração. Esta ponta tem como vantagem boa penetração, boa resistência mecânica e boa resistência ao impacto. Apesar dessa boa penetração, ser pontiaguda e apresentar maior produtividade, ela tem como desvantagem a necessidade de retrabalho na sua ponta, ou seja, que necessita que seja inserindo material duro na região central da ponta, aumentando assim os custos da mesma.

**Figura 5.6** – Ponta de longa vida penetração.



Fonte: [http://carajasmxxi.com.br/pecas\\_fps\\_pontas.htm](http://carajasmxxi.com.br/pecas_fps_pontas.htm), 2014

Outro fator que tem que ser avaliado nas pontas é a montagem da mesma, pois esta pode ser montada por pino ou por encaixe. Esta análise se torna necessária, pois é a partir dela que vai ser verificada a facilidade de montagem e a necessidade de desenvolver outras pontas.

## **5.5 - DESENVOLVIMENTO DE PONTAS COM NOVOS FORNECEDORES**

Para o desenvolvimento da nova ponta deste trabalho foi realizado um projeto detalhado, além da análise metalográfica de todos os materiais utilizados para a fabricação da mesma. Neste estudo a análise é feita do formato da ponta original e comparado o formato das pontas escolhidas para o estudo.

## **5.6 – TESTES 2 E 5 – PONTAS DESENVOLVIDAS**

As análises dos testes 2 e 5 seguem a mesma sequência do teste 1, passando pelos tópicos informados nos itens 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3.

O segundo fornecedor foi escolhido porque o mesmo desenvolveu uma nova tecnologia de materiais duros, sendo este aplicado especificamente em ferramentas de penetração de solo (FPS). Aliado a nova forma de ponta (longa vida reforçada), apresentou excelentes resultados. Para obter o controle de desgaste e resistência ao impacto desejado, à utilização de combinações de vários elementos de ligas e tratamentos térmicos pertinentes a cada composição química do metal foi necessária.

Os cálculos de indicadores dos testes 2 e 5 são os mesmos feitos no teste 1, conforme item 5.3.4.

## 5.7 – TESTES 3 E 4 – REVESTIMENTOS

O processo de revestimento da ponta é chamado de “enxadrezamento das pontas”.

O processo de enxadrezamento das pontas foi feito utilizando eletrodos com material de dureza maior do que a dureza da ponta. A forma de “enxadrezamento” da ponta tem que ser levado em conta, pois a mesma pode influenciar na vida útil da ponta.

Para aumentar a resistência superficial da ponta nova e conseqüentemente aumentar a sua vida útil foi feito revestimento duro na mesma utilizando o processo de soldagem a arco elétrico. O material de adição utilizado foi um eletrodo revestido com dureza maior do que a dureza da ponta. O depósito deste eletrodo de recobrimento foi feito sobre o metal base, formando uma nova superfície, com uma camada de aproximadamente de 5,0 mm. A dureza do material de adição é de 60 a 62 HRc, ou seja, em torno de 654 a 688 HB.

O espaçamento entre os cordões neste enxadrezamento é um parâmetro importante, pois, ele é que vai garantir maior ou menor desempenho da ponta.

Neste trabalho foi realizado o teste 3 com pontas com enxadrezamento de 40 mm entre cordões e o teste 4 com enxadrezamento sem espaçamento entre os cordões. Os cálculos de indicadores dos testes 3 e 4 são os mesmos feitos no teste 1, conforme informado no 5.3.4.

Para a realização do primeiro teste de enxadrezamento da ponta da escavadeira foi utilizado o eletrodo AWS E FeCr-A1 de dureza 58 HRc. Este eletrodo foi escolhido porque a sua aplicação é especificamente para revestimento de dentes e bordas de caçambas de escavadeiras, lâminas gengivas, martelos de moinhos e etc.

Outras características importantes deste consumível, e que confirmou ser a melhor opção de uso neste trabalho, é que ele é um eletrodo rutilico com alto teor de carboneto de cromo, apresenta ótima soldabilidade, ótimo acabamento além de

excelente resistência ao desgaste por abrasão e erosão, combinados com impactos moderados.

No segundo teste de revestimento para a sequência de deposição das camadas de revestimento duro, foi utilizado um eletrodo de ferro fundido de alto teor cromo. Este tipo de eletrodo é usado para componentes sujeitos à abrasão e impacto grave e pesado. O depósito feito com este eletrodo apresenta finamente disperso partículas de carboneto de titânio em uma matriz de alto cromo martensítico.

Para a realização dos testes da ponta com enxadrezamento 2 foi utilizado o seguinte procedimento. Em uma mesma escavadeira foi colocado dois tipos de pontas, de um lado deixou-se duas pontas originais e do outro lado foi colocado duas pontas preparadas com enxadrezamento 2 (Figura 6.7). Definiu-se ainda que as pontas analisadas fossem as duas pontas centrais da caçamba, pois as pontas das extremidades sofrem esforços diferentes, porque os operadores da escavadeira utilizam muitas vezes essas pontas para retirar rochas e blocos.

Este procedimento foi adotado para que pudesse garantir que as duas pontas estivessem sendo submetidas às mesmas condições de trabalho além de escavar o mesmo solo.

## **5.8 – COMPARATIVO DE DADOS DE TODOS OS TESTES.**

Finalizados os testes, tabelas comparativas de características mecânicas, químicas e metalográficas foram feitas para comparar os testes 1, 2 e 5, visto que são testes de avaliação do material dos conjuntos de pontas.

Outra comparação envolve todos os 5 (cinco) testes. Comparam-se os indicadores de vida útil e custos de todos para se obter o teste que tem melhor relação custo benefício, ou seja, o teste que apresenta melhor vida útil e melhor custo por hora trabalhada.

## **5.9 – ENSAIOS UTILIZADOS PARA AVALIAR AS CARACTERÍSTICAS DAS PONTAS**

Após a realização dos testes nos equipamentos as pontas foram enviadas para uma empresa especializada em análises laboratoriais para descrever as características mecânicas e químicas, tais como:

### **5.9.1 – ENSAIO MECÂNICO DE DUREZA SUPERFICIAL**

Este ensaio foi realizado na peça nova e na peça já desgastada.

- a) Unidade de Medida: Dureza Brinell (HB);
- b) Carga Utilizada: 187,5 kg
- c) Penetrador: 2,5
- d) Durômetro Utilizado: Universal Dura Vision DV30, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração – RBC
- e) Ensaio realizado conforme Norma NBR NM ISO 6506-1:2010
- f) Temperatura Ambiente do laboratório: em torno de 22,0 °C

### **5.9.2 – ENSAIO MECÂNICO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO**

Este ensaio foi feito somente nas pontas novas.

- a) Resistência a Tração em MPa;
- b) Resistência ao Escoamento em MPa;
- c) Alongamento do material durante o teste;
- d) Estricção do material durante o teste
- e) Comprimento inicial do corpo de prova = 50 mm
- g) Gerador de Força Máquina Universal de ensaio a Tração, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração – RBC
- h) Ensaio realizado conforme Norma ABNT NBR ISO 6892-1:2013 B:
- i) Temperatura Ambiente do Laboratório em torno de 22,0 °C.

### **5.9.3 – ANÁLISE QUÍMICA POR ESPECTROMETRIA ÓTICA**

Esta análise visa informar a composição química dos materiais das pontas, registrando a concentração de cada elemento, tais como: Carbono (C), Silício (Si), Manganês (Mn), Fósforo (P), dentre outros elementos.

- a) Temperatura Ambiente do Laboratório em torno de 22,0 °C;
- b) Análise realizada segundo instrução técnica IT Lab 249, revisão 04;
- c) Método utilizado – Espectrometria de Emissão Ótica;
- d) Espctômetro de Emissão Ótica SPECTROMAX, calibrado pelo fabricante

## CAPÍTULO 6

### 6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 6.1 - COLETA INICIAL DE DADOS

A Tabela 6.1 apresenta o percentual de custo de cada ponta por porte de equipamento em relação ao total gasto somente com pontas de penetração de solos, nos equipamentos, em um ano de operação. Estes dados foram adquiridos pelo software SAP utilizado pela empresa.

**Tabela 6.1** - Percentual de custo de pontas distribuído por tipo e porte de equipamento. Dados coletados em um ano de operação dos equipamentos.

Modelo	Qtde	Grupo	% Custos
Carregadeira 25 ton	5	CR	7
Carregadeira 50 ton	5	CR	8
Carregadeira 78 ton	2	CR	11
Escavadeira 41 ton	3	ESC	2
Escavadeira 75 ton	2	ESC	9
Escavadeira 80 ton	3	ESC	28
Escavadeira 110 ton	4	ESC	35
Total			100%

**Fonte:** Software SAP - Mineração Usiminas, 2013

Em função dos dados levantados, verificou-se que a escavadeira de grande porte de 110 ton, do grupo ESC apresentou maior custo, logo este foi o equipamento escolhido como objeto de estudo deste trabalho. Todos os equipamentos deste grupo (ESC 110 ton) operam em todas as partes da mina, ou seja, trabalham em todos os tipos de solos.

Os equipamentos desta frota estavam em operação a menos de um ano, mesmo assim o custo ficou maior que os demais equipamentos.

## 6.2 – EXECUÇÃO DO PROCEDIMENTO DE TESTES

O equipamento iniciou sua operação com o conjunto de pontas originais e foram seguidos todos os procedimentos destacado no item 5.2, incluindo o item “g”, que solicita envio de pontas deste conjunto para análise. Foi enviada uma ponta original nova, sem uso e outra ponta do mesmo fabricante já desgastada para que pudesse ser feita a caracterização do material das mesmas. A Figura 6.1 apresenta as duas pontas.

**Figura 6.1** - Ponta nova (maior) e ponta desgastada (menor).



**Fonte:** Próprio autor

É importante observar que a ponta desgastada manteve o formato ainda pontiagudo da ponta original, principalmente na largura frontal da ponta. Este formato aumenta a produtividade da ponta, visto que continua com poder de penetração e de arranque nos taludes, mas desgasta muito rapidamente, pois a área de contato é maior e o esforço, que causa maior abrasividade, desgasta o conjunto mais rápido que uma ponta abaulada.

### **6.3 – TESTE 1 – PONTA ORIGINAL**

#### **6.3.1 - ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DA PONTA ORIGINAL DO EQUIPAMENTO**

Com o acompanhamento dos testes dos 11 conjuntos no equipamento em diferentes pontos da mina, passando por solos compactos e solos friáveis. Estes testes demoraram em média três meses. Todos os passos do procedimento informado no item 5.2 foram seguidos.

Após a produção foram separadas duas pontas, uma nova e uma desgastada para que pudesse ser feita as análises.

#### **6.3.2 - ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS, QUÍMICAS E METALOGRAFICAS DO MATERIAL**

As análises foram feitas dentro das normas técnicas de cada ensaio. A Tabela 6.2 apresenta a média dos resultados das análises das propriedades mecânicas feita na ponta original da Figura 6.1, ou seja, ponta nova. Os primeiros testes foram de tração e posteriormente o ensaio de Dureza Brinell.

Após a análise foi verificado que a dureza inicial quando a ponta estava nova foi de 499 HB, já a dureza final, ou seja, quando a ponta já estava desgastada foi de 480 HB.

As tabelas 6.3 e 6.4 apresentam a composição química e análise micrográfica respectivamente encontradas na ponta original.

**Tabela 6.2** – Resultado médio das análises das propriedades mecânicas feitas na ponta original.

<b>Descrição</b>	<b>Valor</b>
Resistência a Tração (MPa)	1175,2
Resistência Escoamento (MPa)	1072,2
Alongamento (%)	1,6
Estricção (%)	6,3
Dureza Inicial (HB)	499
Dureza Final (HB)	480
Peso Inicial (Kg)	67

**Fonte:** SENAI – Itaúna CETEF Marcelino Corradi - 2013

**Tabela 6.3** – Composição química do material em percentual por peso.

<b>Descrição</b>	<b>Valor</b>
C – Carbono (%)	0,28
Si – Silício (%)	1,95
Mn – Manganês (%)	1,55
Cr – Cromo (%)	0,64
Mo – Molibdênio (%)	0,41
Ni – Níquel (%)	0,16

**Fonte:** SENAI – Itaúna CETEF Marcelino Corradi – 2013

**Tabela 6.4 – Análise micrográfica na ponta original.**

<b>Descrição</b>	<b>Característica</b>
Tipo de Aço	Aço ligado, tipicamente normalizado
Tratamento Térmico	Temperado e revenido
Microestrutura	Típica de martensita, revenida e bainita
Observação	Resistência ao desgaste é obtida pela dureza mais elevada não contando com a capacidade de encruamento da austenita

**Fonte:** SENAI – Itaúna CETEF Marcelino Corradi - 2013

### **6.3.3 - CÁLCULO DE INDICADORES DE VIDA ÚTIL E CUSTO**

A Tabela 6.5 apresenta o custo e a vida útil do conjunto de pontas originais do equipamento. Estes valores são relativos a um trimestre de uso, onde foram utilizados 11 conjuntos de pontas. Os testes foram feitos em um equipamento da frota de 110 ton e trabalhou em vários solos da mina.

**Tabela 6.5 - Custo e vida útil das pontas originais do equipamento.**

<b>Ponta</b>	<b>Quantidade de conjuntos</b>	<b>Custo (R\$ / HT)</b>	<b>Vida útil (HT / Q)</b>
Ponta Original	11	41	92

**Fonte:** Próprio autor

O custo por hora trabalhada (R\$/HT) iniciou em torno de R\$ 41,00. Os conjuntos de pontas em questão tiveram a necessidade de serem trocadas a cada 92 horas (em média). Este valor de vida útil está bem abaixo do objetivo que propõe que é de trocar as pontas somente nas manutenções preventivas, ou seja, com aproximadamente 250 horas de operação.

## 6.4 – DESENVOLVIMENTO DA FORMA IDEAL PARA PENETRAÇÃO NO SOLO

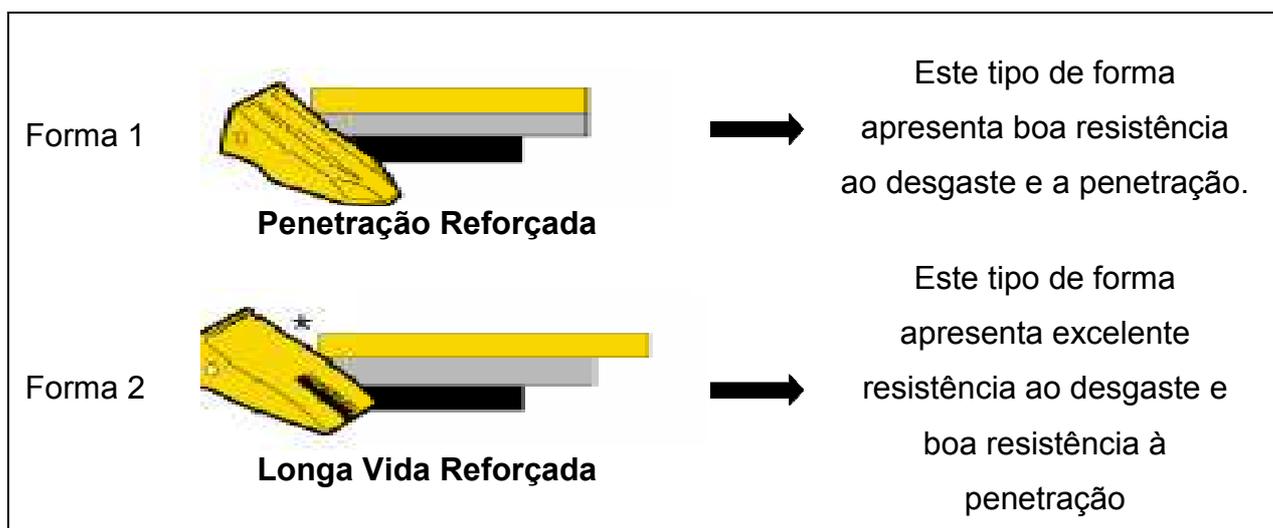
Em parceria com um fornecedor (que neste momento vamos chamar de fornecedor 1), foi desenvolvido um projeto de construção de uma nova ponta com o formato e dimensões que melhorariam o processo. Para este estudo o primeiro fator a ser escolhido foi da forma das pontas.

### 6.4.1 – ESCOLHA DA FORMA DAS PONTAS

As formas escolhidas para o desenvolvimento deste trabalho foram às formas que apresentam melhor desempenho na mineração. A Figura 6.2 apresenta as formas que foram escolhidas inicialmente com suas respectivas características técnicas.

A ponta de longa vida penetração, apresentada na revisão bibliográfica, foi descartada por apresentar um custo bem mais elevado do que as outras duas que fazem parte da primeira seleção.

**Figura 6.2** - Pontas escolhidas para os testes iniciais.



**Fonte:** Escosoldering (2014)

Após as análises iniciais ficou definido que a ponta de longa vida reforçada (Forma 2 da Figura 6.2) foi escolhida a ponta para fazer a análise comparativa neste trabalho.

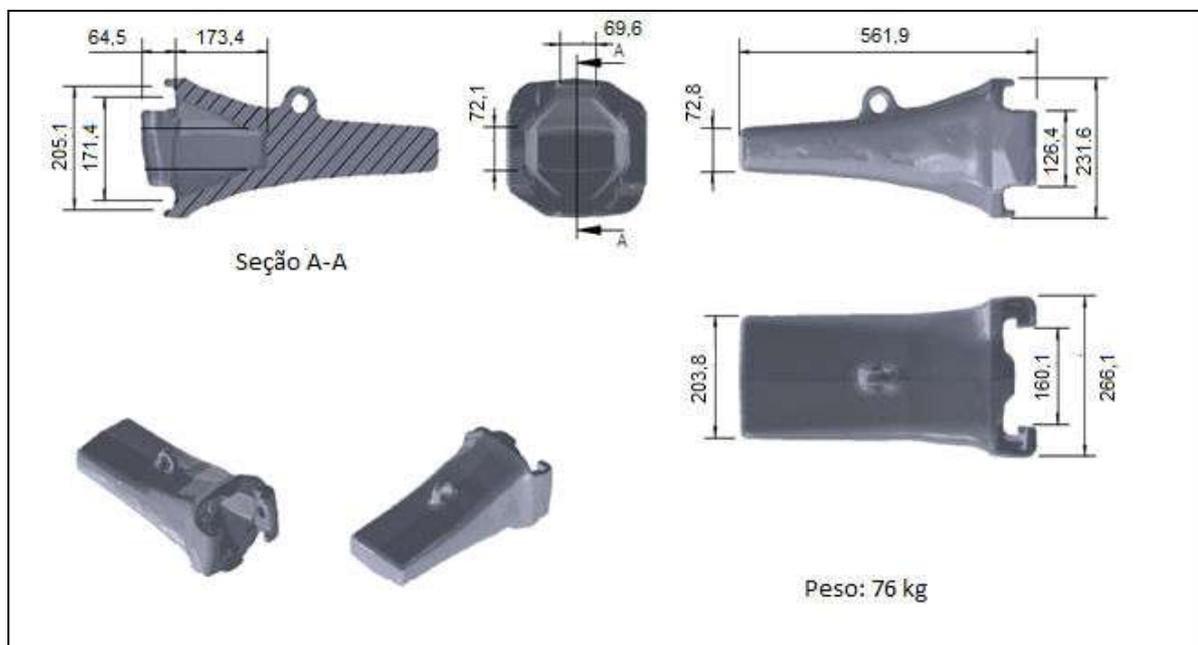
Além do comparativo, os gráficos de cores informativo da Figura 6.2 ao lado de cada ponta (gráfico de desgaste de ferramentas em forma de barras) demonstram que a resistência ao desgaste, destacada na cor amarela (primeira barra), é maior na forma 2 do que na forma 1.

Apesar do formato menos pontiagudo, o gráfico de barra cinza (segunda barra), demonstra que as duas pontas apresentam a mesma penetração e a mesma resistência a impacto (terceira barra).

#### 6.4.2 – DESENVOLVIMENTO DE PONTAS COM NOVOS FORNECEDORES

Foi dimensionada a primeira ponta para teste e validação conforme Figura 6.3. Após aprovação foram feitos os conjuntos para testes. Um diferencial nesta ponta é que ela apresenta um formato mais abaulado que a ponta original além de apresentar maior peso.

**Figura 6.3** - Dimensões da ponta desenvolvida para o trabalho.



**Fonte:** Fornecedor 1

Um detalhe importante das dimensões escolhidas está relacionado com a altura do bico da ponta que é de 72,8mm e com a largura que é de 203,8mm. Estas

dimensões foram escolhidas porque é nesta região que a ponta tem o seu primeiro contato com o solo. A ponta tem sua parte frontal mais robusta o que diminui o desgaste em relação a uma ponta mais pontiaguda, mas ao mesmo tempo aumenta o esforço que a escavadeira necessita para penetrar no solo. É um esforço maior, mas dentro da capacidade da máquina.

## **6.5 – TESTE 2 - PONTA DO FORNECEDOR 1**

### **6.5.1 – CONFEÇÃO DE PONTAS PARA TESTE**

A ponta foi fabricada conforme forma escolhida e com material indicado para atender a necessidade que foi o (Aço ASTM A128 – Grau A). A característica principal deste aço para a construção desta nova ponta foi que ele aumenta a dureza durante o processo de operação da escavadeira. Esse aumento da dureza se dá em função da formação de uma microestrutura austenítica com alta resistência ao impacto.

De acordo com a coleta de dados feita durante a operação desta ponta, foi verificado que este material inicia o trabalho de operação com uma dureza baixa, ou seja, de 240HB e finaliza com uma dureza bem superior a inicial, ou seja, com 500HB. O valor dessa dureza superior no final da operação se dá devido ao processo de encruamento que a superfície sofre e devido às tensões de compressão que acontece durante a escavação.

Outra característica importante deste material é que ele possui elevado percentual de manganês o que contribui para o aumento da temperabilidade, o aumento da soldabilidade além do aumento do limite de resistência à tração e a diminuição da tenacidade. Esse conjunto de propriedades alcançadas em função do aumento do percentual de manganês na liga faz com que aumenta consideravelmente a resistência à abrasão, sendo este fator o mais importante para elevar a vida útil da ponta. O peso desta ponta ficou em torno de 76kg, bem acima da original, principalmente devido ao formato mais quadrado do que pontiagudo.

### 6.5.2 – TESTES COM AS PONTAS DESENVOLVIDAS

Logo no início da produção com a ponta vida longa reforçada (Forma 2) foi verificado um melhor desempenho em relação a ponta de penetração reforçada. Em média houve um acréscimo acima de 20% nas horas trabalhadas, o que definiu a escolha deste formato de ponta para o objeto de estudo. Além de aumentar a vida útil, melhorou também a produtividade, visto que a ponta ficou por mais tempo com comprimento e largura maiores.

Para obter valores comparativos da ponta desenvolvida, foi feita a análise micro estrutural da ponta fabricada sem uso e uma ponta desgastada com uso no equipamento de teste. A Figura 6.4 apresenta as duas pontas analisadas, sendo que a maior em verde é a ponta desenvolvida nova e a menor (cinza) é a mesma ponta já desgastada. Posterior aos testes realizados em campo foi feito as Tabelas 6.6 e 6.7 que apresentam os resultados dos testes de tração e a composição química, comparando com a ponta original.

**Figura 6.4** – Ponta desenvolvida nova e desgastada.



**Fonte:** Próprio Autor

### 6.5.3 - ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS, QUÍMICAS E METALGRÁFICAS DO MATERIAL

**Tabela 6.6** – Comparativo de valores entre a ponta original e do fornecedor 1.

Descrição	Valor	
	Ponta Original	Ponta Fornecedor 1
Resistência a Tração (MPa)	1175,2	860,9
Resist. Escoamento (MPa)	1072,2	375,7
Alongamento (%)	1,6	43,5
Estricção (%)	6,3	34,2
Dureza Inicial (HB)	499	244
Dureza Final (HB)	480	483
Peso (Kg)	67	76

**Fonte:** SENAI – Itaúna CETEF Marcelino Corradi - 2013

**Tabela 6.7** – Comparativo de composição química do material original com o material do fornecedor 1 em percentual por peso.

Descrição	Valor	
	Ponta Original	Ponta Fornecedor 1
C – Carbono (%)	0,28	1,35
Si – Silício (%)	1,95	1,00
Mn – Manganês (%)	1,55	14,00
Cr – Cromo (%)	0,64	1,00
Mo – Molibdênio (%)	0,41	0,00
Ni – Níquel (%)	0,16	0,00

**Fonte:** SENAI – Itaúna CETEF Marcelino Corradi - 2013

A tabela 6.8 apresenta a análise micrográfica das pontas originais e do fornecedor 1.

**Tabela 6.8 – Análise Micrográfica das pontas original e do fornecedor 1.**

Descrição	Características	
	Ponta Original	Ponta Fornecedor 1
Tipo de Aço	Aço ligado, tipicamente normalizado.	Aço Manganês do tipo <i>HadField</i>
Tratamento Térmico	Temperado e revenido.	Sem Tratamento.
Microestrutura	Típica de martensita revenida e bainita.	Austenítica de baixa dureza.
Observação	Resistência ao desgaste é obtida pela dureza mais elevada não contando com a capacidade de encruamento da austenita.	Elevada ductilidade, baixo escoamento e a estrutura CFC permitem elevada capacidade de encruamento. Isso confere a resistência ao desgaste, para situações que envolvam impacto.

Fonte: SENAI – Itaúna CETEF Marcelino Corradi - 2013

#### 6.5.4 - CÁLCULO DE INDICADORES DE VIDA ÚTIL E CUSTO

A Tabela 6.9 apresenta os resultados dos custos e da vida útil obtidos tanto para os testes feitos com ponta original que vem com o equipamento novo quanto para os testes feitos com a ponta desenvolvida com fornecedor 1. Os testes tiveram uma duração de três meses e foi utilizado 11 conjuntos de pontas.

**Tabela 6.9 – Resultados dos testes com ponta original e desenvolvida fornec. 1.**

Ponta	Quantidade de Conjuntos	Custo (R\$ / HT)	Vida útil (HT / Q)
Ponta Original	11	41	92
Fornecedor 1	11	31	131

Fonte: Próprio autor

Verifica-se que a ponta original tem maior resistência a tração e escoamento que a ponta do fornecedor 1. Analisando somente estes dois parâmetros a ponta do fornecedor 1 desgastaria mais com a abrasão, mas pode-se reparar que o alongamento e a estricção são maiores na ponta do fornecedor 1 o que possibilita um amortecimento antes de escoar ou romper.

Outro fator importante se refere à dureza que na ponta original, o valor diminui de 499HB da ponta nova, para 480HB da ponta desgastada. Na ponta do fornecedor 1 ocorre o fenômeno ao contrário.

À medida que a ponta vai trabalhando ela aumenta a dureza. O peso é maior na ponta do fornecedor 1 (76 contra 67 kg) devido ao novo formato que é retangular.

Comparando a composição química, foi verificado que a principal diferença está no percentual de manganês na ponta do fornecedor 1 que é bem superior do que o percentual da ponta original.

De acordo com a literatura, a adição de manganês aumenta a temperabilidade, a soldabilidade e o limite de resistência à tração, porém diminui de forma a tenacidade do material. Em grandes quantidades aumenta à resistência à abrasão.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6.9 pode-se verificar que teve uma redução de 26% no custo e aumento de 42% na vida útil quando se utilizou a ponta desenvolvida com fornecedor 1.

Diante destes resultados acredita-se que a especificação da nova ponta atende as expectativas estabelecidas quanto ao custo e em parte quanto à vida útil da ponta. É dito em parte devido à ponta não atingiu às 250 horas de vida útil definida nos objetivos específicos.

## 6.6 – TESTE 3 – RESULTADO / DESEMPENHO DO PRIMEIRO TESTE DE ENXADREZAMENTO

Para a execução dos cordões de solda foi definido que os mesmos teriam um espaçamento de 40 mm e seriam depositados paralelos à face de penetração tanto na parte de baixo quanto nas laterais da mesma conforme mostra a Figura 6.5. Este tipo de enxadrezamento foi chamando neste trabalho de enxadrezamento 1.

Na parte superior da ponta, acima do olhal, foram feitos cordões paralelos um ao lado do outro. Este processo de deposição foi feito de forma manual.

A Tabela 6.10 apresenta os resultados compilados para os três testes, ou seja, teste das pontas originais do fabricante, ponta do fornecedor 1 sem revestimento e ponta do fornecedor 1 com revestimento de material duro. Para este teste foram utilizados oito conjuntos de pontas.

**Figura 6.5** – Enxadrezamento 1 da ponta feito com o eletrodo AWS E FeCr-A1.



**Fonte:** Próprio autor

**Tabela 6.10** – Dados compilados das pontas utilizadas para teste.

<b>Ponta</b>	<b>Quantidade de Conjuntos</b>	<b>Custo (R\$ / HT)</b>	<b>Vida útil (HT / Q)</b>
Ponta Original	11	41	92
Ponta Fornecedor 1 <b>sem</b> revestimento	11	31	131
Ponta fornecedor 1 <b>com</b> revestimento 1	11	26 (obs)	140

**Fonte:** Próprio autor

É importante ressaltar que relativo ao custo foram contemplados os valores gastos com insumos, bem como os custos de mão de obra necessária para revestimento das pontas.

Analisando os resultados obtidos da Tabela 6.10 pode-se observar que houve uma melhora tanto no custo quanto na vida útil da ponta que recebeu o revestimento duro. Porém, o procedimento para aplicar este revestimento com material duro requer um tempo maior de preparação da ponta. Diante disto, e pela pequena variação obtida nos resultados, concluiu-se que é um processo viável, mas que requer um trabalho a mais na produção das pontas.

Vale lembrar que o custo do material adicionado bem como o custo de mão de obra faz parte do valor final de custo por hora trabalhada. Mesmo reduzindo o custo por hora trabalhada de 31 para 26 (R\$ / HT) e aumentando a vida útil de 131 para 140 horas, foi decidido interromper os testes com dois meses, mas foi utilizado os 11 conjuntos solicitados. Outro fator que ajudou a interromper o teste foi à forma de aplicação do revestimento duro que era artesanal.

No segundo teste de enxadrezamento foi aplicado de forma mecanizada para garantir a padronização dos cordões, através de revestimentos com cordões utilizando máquina de solda automática.

## 6.7 – TESTE 4 – RESULTADO / DESEMPENHO SEGUNDO TESTE DE ENXADREZAMENTO

Para tentar melhorar o desempenho da ponta com a técnica de aplicação de revestimento duro, foi feito um segundo teste de enxadrezamento (enxadrezamento 2) utilizando um novo procedimento de deposição, ou seja, fazer várias camadas de revestimento. Neste segundo teste optou-se em revestir com eletrodo duro toda a parte frontal da ponta conforme Figura 6.6.

**Figura 6.6** – Enxadrezamento 2 da ponta feito com o eletrodo AWS E FeCr-A1.



**Fonte:** Próprio autor

As pontas foram revestidas pelo próprio fornecedor do eletrodo e foram preparados seis conjuntos de pontas para os testes sendo utilizados todos os conjuntos durante os três meses de testes.

**Figura 6.7** - Escavadeira com dois tipos ponta - original e com enxadrezamento 2.



**Fonte:** Próprio autor.

A Tabela 6.11 apresenta os resultados compilados para as quatro pontas, ou seja, pontas originais do fabricante, ponta da fornecedor 1 **sem** revestimento, ponta da fornecedor 1 **com** enxadrezamento 1 e ponta da fornecedor 1 **com** enxadrezamento 2.

Analisando os resultados obtidos na Tabela 6.11 pode-se observar que os resultados também apresentaram uma leve melhora tanto no custo quanto na vida útil da ponta que recebeu enxadrezamento 2. Porém, o procedimento para aplicar este revestimento duro requer um tempo maior ainda do que o tempo gasto na preparação da ponta com enxadrezamento 1, além de uma quantidade maior de material depositado. Diante disto, e pela pequena variação obtida nos resultados, concluiu-se que é um processo viável, mas que requer um trabalho a mais na produção das pontas.

**Tabela 6.11** – Dados compilados das pontas utilizadas para teste.

<b>Ponta</b>	<b>Quantidade de Conjuntos</b>	<b>Custo (R\$ / HT)</b>	<b>Vida útil (HT / Q)</b>
Ponta Original	11	41	92
Ponta Fornecedor 1 <b>sem</b> revestimento	11	31	131
Ponta Fornecedor 1 <b>com</b> enxadrezam. 1	11	26 (obs)	140
Ponta Fornecedor 1 <b>com</b> enxadrezam. 2	11	22 (obs)	151

**Fonte:** Próprio autor

É importante observar que neste custo foram contemplados os valores gastos com insumos, bem como custos de mão de obra necessária para revestimento das pontas.

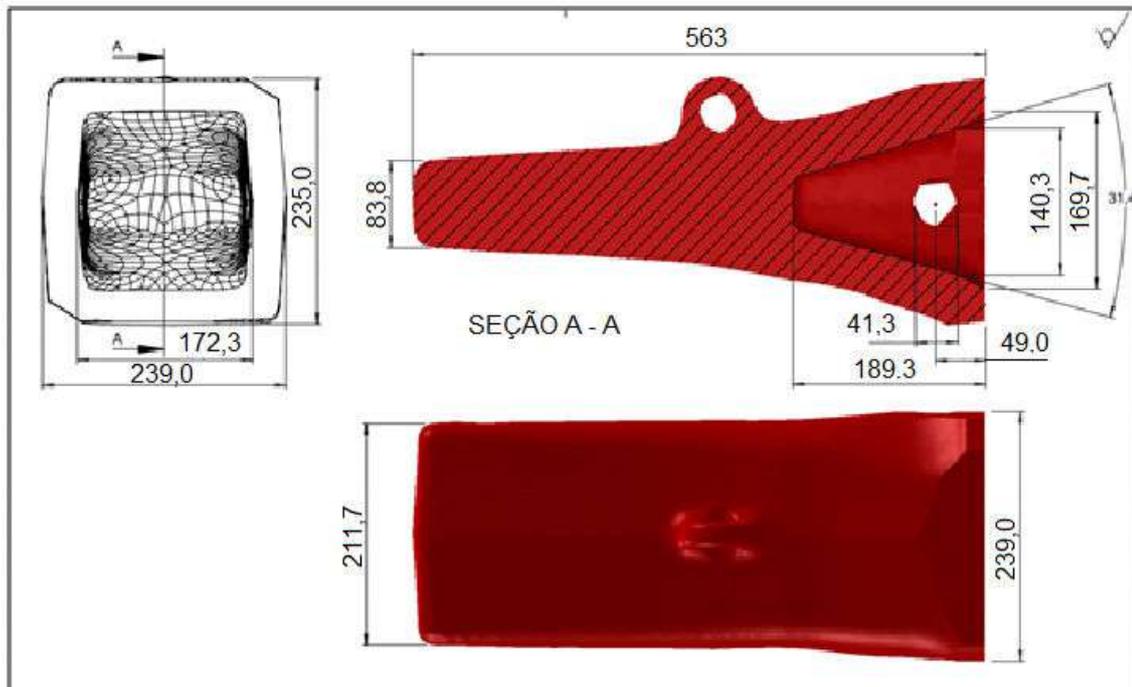
## **6.8 – TESTE 5 – PONTA DO FORNECEDOR 2**

### **6.8.1 – NOVA CONFECÇÃO DE PONTAS PARA TESTE**

Em parceria com um novo fornecedor (que neste momento vamos chamar de fornecedor 2) foi desenvolvido um projeto de construção de uma nova ponta com o formato e dimensões que melhorariam o processo. A forma continua sendo a longa vida reforçada. Esta nova ponta tem o mesmo desenho da ponta desenvolvida com o primeiro fornecedor, mas com algumas alterações apresentadas na Figura 6.8. As principais alterações estão na largura frontal da ponta que foi de 203,8 para 211,7 mm, na altura frontal da ponta que foi de 72,8 para 83,8 mm e no peso que foi de 76 para 92 kg

As especificações dos elementos químicos e temperatura dos tratamentos térmicos foram controladas para que pudesse obter uma dureza entre 400 HB até 480 HB.

**Figura 6.8** – Pontas desenvolvidas com o fornecedor 2.



**Fonte:** Próprio autor

### **6.8.2 - ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS, QUÍMICAS E METALOGRAFICAS DO MATERIAL**

As Tabelas 6.12, 6.13 e 6.14 apresentam os resultados obtidos nas características e ensaios mecânicos, a composição química e a micrografia da ponta original, ponta do fornecedor 1 e ponta do fornecedor 2.

**Tabela 6.12** – Comparativo de características mecânicas entre a ponta original, ponta do fornecedor 1 e ponta do fornecedor 2.

<b>Descrição</b>	<b>Valor Ponta Original</b>	<b>Valor Ponta Fornecedor 1</b>	<b>Valor Ponta Fornecedor 2</b>
Resistência a Tração (MPa)	1175,2	860,9	1429
Resist. Escoamento (MPa)	1072,2	375,7	-
Alongamento (%)	1,6	43,5	-
Estricção (%)	6,3	34,2	-
Dureza Inicial (HB)	499	244	480
Dureza Final (HB)	480	483	477
Peso (Kg)	67	76	92

**Fonte:** SENAI – Itaúna CETEF Marcelino Corradi - 2013

**Tabela 6.13** – Comparativo de composição química em percentual por peso do material original com o material do fornecedor 1 e com do fornecedor 2.

<b>Descrição</b>	<b>Valor Ponta Original</b>	<b>Valor Ponta Fornecedor 1</b>	<b>Valor Ponta Fornecedor 2</b>
C – Carbono (%)	0,28	1,35	0,21
Si – Silício (%)	1,95	1,00	0,69
Mn – Manganês (%)	1,55	14,00	0,95
Cr – Cromo (%)	0,64	1,00	0,81
Mo – Molibdênio (%)	0,41	0,00	0,53
Ni – Níquel	0,16	0,00	1,55

**Fonte:** SENAI – Itaúna CETEF Marcelino Corradi - 2013

**Tabela 6.14 – Análise Micrográfica das três pontas testadas.**

Descrição	Características	Características	Características
	Ponta Original	Ponta Fornecedor 1	Ponta Fornecedor 2
Tipo de Aço	Aço ligado, tipicamente normalizado.	Aço Manganês do tipo <i>HadField</i> .	Aço ligado
Tratamento Térmico	Temperado e revenido.	Sem Tratamento.	Temperado e revenido 02 vezes.
Estrutura	Típica de martensita revenida e bainita.	Austenítica de baixa dureza.	Martensita e bainita
Observação	Resistência ao desgaste é obtida pela dureza mais elevada não contando com a capacidade de encruamento da austenita.	Elevada ductilidade, baixo escoamento e a estrutura CFC permitem elevada capacidade de encruamento. Isso confere a resistência ao desgaste, para situações que envolvam impacto.	Presença típica de inclusões nas extremidades da amostra e regiões de difícil por microscopia ótica. Apresenta descarbonetação e inclusões típicas de óxidos e sulfetos e porosidades típicas de microrrechupes dispersas na seção examinada.

**Fonte:** SENAI – Itaúna CETEF Marcelino Corradi – 2014

### 6.8.3 - CÁLCULO DE INDICADORES DE VIDA ÚTIL E CUSTO

A Tabela 6.12 apresenta o material do fornecedor 2 com maior resistência a tração, sem resistência ao escoamento, alongamento e estrição. A dureza alterou pouco da ponta nova para a ponta desgastada e o peso aumentou para 92 kg.

Verificou-se maior teor de Cromo e Níquel no material do segundo fornecedor, o que da maior resistência à tração, maior tenacidade do material, mas deve-se ficar atento a quebra por impacto, visto que a resistência a este fenômeno.

Analisando os resultados obtidos na Tabela 6.15, observa que a ponta do fornecedor 2 obteve uma melhora considerável em relação as outras quatro pontas. Conseguiu-se uma redução de 66% no custo e acréscimo de 100% na vida útil em relação a ponta original que veio com o equipamento.

Diante deste resultado acredita-se que com esta nova tecnologia de fabricação seja viável a sua utilização.

As pontas do fornecedor 2 apresentaram maior estabilidade do material durante toda espessura, o que permite melhor desempenho na penetração.

**Tabela 6.15** – Dados compilados das pontas utilizadas nos testes.

<b>Ponta</b>	<b>Quantidade de Conjuntos</b>	<b>Custo (R\$ / HT)</b>	<b>Vida útil (HT / Q)</b>
Ponta Original	11	41	92
Ponta Fornecedor 1 <b>sem</b> revestimento	11	31	131
Ponta Fornecedor 1 <b>com</b> enxadrezam. 1	11	26	140
Ponta Fornecedor 1 <b>com</b> enxadrezam. 2	11	22	151
Ponta Fornecedor 2 <b>sem</b> revestimento	11	14	184

**Fonte:** Próprio autor

## **6.9 – AVALIAÇÃO DAS PONTAS**

Um teste realizado após a utilização das pontas foi à avaliação após retirada das pontas desgastadas do equipamento. Chamado de Teste de Desgaste, avaliando quais as variações nas dimensões após a retirada para se avaliar se o conjunto desgasta por igual.

Foi enviado um lote das pontas do fornecedor 1 após uma produção normal. Na Figura 6.9 é apresentado um jogo retirado da caçamba, e numerado conforme montagem na caçamba. A numeração respeita a ordem de a primeira ser a ponta do lado direito da caçamba, lado oposto ao operador, até a quarta ponta que é a primeira próxima ao operador.

O Percentual medido foi a relação de utilização da ponta, ou seja, a ponta nova tem um comprimento de 561,9mm e tem que ser retirada com no máximo 180mm. A diferença, 381,9mm corresponde a 0% de desgaste. A medida que vai desgastando, vai perdendo material até chegar a 180mm, que corresponde a 100% de desgaste. A ponta com menos de 180mm pode furar e iniciar o desgaste do adaptador. Como o conjunto desgasta desigualmente, ou seja, as pontas das extremidades desgastam mais rapidamente, e até mesmo em uma mesma ponta existe o desgaste desigual na sua parte frontal, analisar como está sendo retirado o conjunto, permite ver quando ainda poderia ser produzido com o conjunto.

Observa-se uma grande diferença no desgaste das pontas das laterais com as pontas do centro. As Figuras 6.10, 6.11, 6.12 e 6.13 apresentam os desgastes ocorridos em cada uma delas.

**Figura 6.9** - Pontas desgastadas a serem analisadas.



**Fonte:** Próprio Autor

**Figura 6.10** – Ponta 1 - Lado do operador.



**Fonte:** Próprio Autor

Esta ponta apresentou desgaste de 83% e tem o perfil irregular por operar em um dos cantos da caçamba (lado direito). Verifica-se que um dos lados gastou mais de 100% e quase iniciou o desgaste no adaptador.

**Figura 6.11** – Ponta 2 - Segunda ponta na sequência.



**Fonte:** Próprio Autor

Desgastado 59,88% desta ponta. Esta ponta ainda poderia ser aproveitada por mais de 40 horas.

**Figura 6.12** – Ponta 3 - Terceira ponta na sequência.



**Fonte:** Próprio Autor

Desgastado 72,07% desta ponta. Esta ponta ainda poderia ser aproveitada por mais de 20 horas.

**Figura 6.13** – Ponta 4 - Quarta ponta na sequência – ponta do lado do oposto ao operador.



**Fonte:** Próprio Autor

Esta ponta apresentou perfil de desgaste irregular por operar em um dos cantos da caçamba (lado esquerdo). Ela desgastou 95% de um lado e 103% do outro, bem próximo de furar e desgastar o adaptador. Devido ao desgaste desta ponta, foi necessária a troca do conjunto.

Para um aproveitamento melhor recomenda-se o rodízio das pontas dos cantos para o centro.

Os resultados obtidos demonstram que nos testes obtivemos resultados positivos e a cada teste realizado, a vida útil foi aumentada e o custo reduzido. Os testes que envolveram revestimento com eletrodo duro apresentaram resultados satisfatórios, mas deve-se levar em consideração que é necessário um trabalho maior na fabricação das pontas.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos das análises de composições químicas, características mecânicas, análise micrográfica, vida útil e custo, pode-se estabelecer as seguintes conclusões:

- ✓ A forma mais adequada é a forma da ponta de longa vida reforçada, pois esta ponta apresentou maior produtividade, devido a permanecer por mais tempo com comprimento e larguras maiores. Foi a principal alteração de resultados de melhoria no desempenho das ferramentas de penetração de solo (FPS);
- ✓ O custo / benéfico foi atingido, visto que foi reduzido o custo de 41 para 14 reais por hora trabalhada (R\$ / HT), que representa uma redução de 66% no custo;
- ✓ Obteve-se uma melhoria considerável na vida útil da ponta, visto que ela aumentou em 100%. Não foi atingida a meta, mas os números apresentam resultados satisfatórios e com perceptiva de chegar ao resultado esperado;
- ✓ É necessário que haja o rodízio das pontas das laterais da caçamba com as pontas do centro, pois dessa forma pode-se controlar melhor o desgaste das pontas, evitando retirada do conjunto com as pontas das extremidades mais desgastadas que as do centro. Este rodízio deve acontecer na metade da vida útil, ou seja, atualmente em torno de 90 a 100 horas de operação;
- ✓ Com o revestimento de material duro em pontas, obteve-se uma melhora na vida útil e uma redução no custo quando aplicados na ponta do fornecedor 1, apresentando resultados satisfatórios. Não foram feitos testes com revestimento nas pontas do fornecedor 2;
- ✓ O material com maior resistência a tração devido a ter maior teor de cromo e níquel apresentou uma melhor desempenho nos solos, mas tem que ficar atento aos impactos que podem quebrar as pontas;

- ✓ Devido aos bons resultados obtidos neste tipo de equipamento deste trabalho este trabalho deve ser multiplicado para outra escavadeira de porte maior de 250 toneladas e pode atingir todos os equipamentos das frotas de escavadeiras e carregadeiras.

## **CAPÍTULO 8**

### **SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

- ✓ Testes de mudanças nos formatos de pontas em todos os equipamentos da frota;
- ✓ Testes com revestimentos de material duro nas pontas, revestindo parcialmente a parte superior da ponta para que o desgaste seja na lateral e a ponta continue com comprimento maior;
- ✓ Análise do formato da ponta no consumo de diesel dos equipamentos;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAM, I.; ROCHA, A. V. Manual prático de terraplenagem. Salvador/Ba. Set. 2000.

ALBERTIN, E. Desgaste abrasivo. 58<sup>o</sup> congresso anual da ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Mineração. Rio de Janeiro. 2003, p.55.

AWS. Gas Metal Arc Welding. Weilding Handbook & ed. Miami: AWS. v.2, 1991. p.109-1L55.

BAPTISTA, A. L. DE B., NASCIMENTO, I. A. Revestimentos duros resistentes ao desgaste depositados por soldagem utilizados na recuperação de elementos de máquinas. Spectru Instrumental Científico Ltda. Rio de Janeiro. Site: [www.spectru.com.br](http://www.spectru.com.br), 2014.

BARROS, M. B.; DE MELLO, J. D. B. Efeito dos parâmetros de teste sobre o mecanismo de desgaste predominante em ensaios de desgaste abrasivo. Revista Horizonte Científico, 2006, p.1-22.

BHOLE, S.D.; YU, H. Abrasive wear evaluation of tillage tool materials. Lubrication Engineering, v.48, n.12, 1992, p.925-34.

BUCHELY, M.F.; GUTIERREZ, J.C.; LEON, L.M.; TORO,A. The effect of microstructure on abrasive wear hardfacing alloys, Tribology and surfaces Group, National University of Colômbia, Medell'in, Colômbia. Science Direct. Wear 259.2005. p. 52-61.

CASQUET, Regis Quesada., PEREIRA, Walmir Carvalho. & LAGE, Edson Rogerio. Planejamento de Minas na Samarco Mineração S. A. Revista da Escola de Minas de Ouro Preto. 49 (3):set Ouro Preto: Escola de Minas, 1996. p. 7-10.

CASTRO, Cristóvão Américo Ferreira. Resistência ao desgaste abrasivo das sapatas de trator de esteira após processos de recuperação. 73f. 2010. Dissertação (Mestrado) Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2010.

CATÁLOGO Usiminas de Chapas Grossas, 2014.

CONDE, R.H. Recubrimientos resistentes al desgaste. Boletín Técnico Conarco, n.85, 1986, p.2-20.

DAVIS, J.R. - Hardfacing, Weld Cladding and Dissimilar Metal Joining. In: ASM Handbook - Welding, Brazing and Soldering, Vol. 6. 10th ed. OH: ASM Metals Park, 1993, p. 699-828.

DETTOGNI, Marcio Abbade. Principais mecanismos de desgaste e avaliação de diferentes ligas para corpos moedores. 59 f. 2010. Monografia (Especialização) Pós-Graduação Lato Sensu em Beneficiamento Mineral. Universidade Federal de Ouro Preto Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas, Ouro Preto, 2010.

DIN 50 320. Análise sistemática dos processos de desgastes: classificação dos fenômenos de desgaste. Metalurgia e Materiais, v.53. 1997, p.619-622.

ESPÍRITO SANTO, A. C. Desgaste de ponteiros de hastes sulcadoras de semeadoras de plantio direto e sua influência no esforço de tração. Porto Alegre: UFRGS, Tese Doutorado, 2005. p.152.

EYRE T. S. – Wear Characteristic of Metals, Source Book on Wear Control Technology, ASM, Metals Park, Ohio, 1978.

FERNANDES, J. C.; SANTOS, J. E. G.; SANTOS FILHO, A. G.; BORMIO, M. R. Avaliação do desgaste de implementos agrícolas para diversos tipos de solos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31, Salvador. Anais... Salvador: SBEA, 2002. CD Rom.

GAHR, Karl-Heinz Zum. Microestrutura and wear of materials. Tribology series, v10. Amsterdam: Elsevier, 1987. p.560.

GREGOLIN, J.A.R. Desenvolvimento de ligas Fe-C-Cr-(Nb) resistentes ao desgaste. Campinas : Universidade Estadual de Campinas, tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Campinas/UNICAMP, 1990, p.228.

GUERRA, P. A. G. Geoestatística Operacional. Brasília: DNPM, 1988. p.145.

GUIA DE COMPRAS – Siderurgia Brasileira e Metais Não Ferrosos, 2014, p.121;

HETTIARATCHI, D.R.P.; WITNEY, B.D.; REECE, A.R. The calculation of passive pressure in two-dimensional soil failure. Journal of Agricultural Engineering Research, v.11, 1966, p.89-107.

LIMA, Aldemi Coelho. Estudo da aplicação de revestimento duro por soldagem com arames tubulares quanto à resistência ao desgaste de facas picadoras de cana de açúcar, tese para obtenção de título de Doutor em Engenharia Mecânica, 2008.

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Mineração a céu aberto](http://pt.wikipedia.org/wiki/Minera%C3%A7%C3%A3o_a_c%C3%A9u_aberto)

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Mineração](http://pt.wikipedia.org/wiki/Minera%C3%A7%C3%A3o)

<http://www.asmaquinaspesadas.com/2012/06/fotos-e-videos-da-maior-escavadeira.html>.

<http://c3manuais.blogspot.com.br/2012/10/curso-escavadeira-hidraulica-case-cx.html>

[http://www.excavatorbucket.en.alibaba.com/product/1763067166-221940381/Kobelco SK350 Underground Mining Bucket for Excavator.html](http://www.excavatorbucket.en.alibaba.com/product/1763067166-221940381/Kobelco_SK350_Underground_Mining_Bucket_for_Excavator.html)

[http://carajasmxxi.com.br/peças\\_fps\\_pontas.htm](http://carajasmxxi.com.br/peças_fps_pontas.htm)

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABBN4AL/lavra-mina-ceu-aberto-subterranea>

<http://pt.dreamstime.com/imagem-de-stock-máquina-escavadora-que-enche-o-caminhão-image31565251>

HUTCHINGS, I. M. Tribology: friction and wear of engineering materials, London: Edward Arnol, 1992.p.273.

LEITE, R. V. Melo e MARQUES, P. V. Estudo comparativo da resistência ao desgaste abrasivo do revestimento de três ligas metálicas utilizadas na indústria, aplicadas por soldagem com arames tubulares. *Soldag. insp. (Impr.)*, vol.14, no.4, 2009, p.329-335.

MACHADO, Antônio L. T. et al. Metodologia para avaliação do desgaste em ferramentas simétricas de mobilização do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.13, n.5, 2009, p.645–650.

MARTINS, F. A. Soldagem de revestimento com arame tubular. Dissertação de Mestrado. UFSCar. PPG. São Carlos. SP. 1995.

MESQUITA, R. A.; BARBOSA, C. A. Uma avaliação das propriedades de desgaste e tenacidade em aços para trabalho a frio. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, v.2, n.2, 2005, p.12-18.

METALS HANDBOOK – v.2. Heat Treating Cleaning and Finishing. 8th Edition, Metal Park, Ohio, American Society for Metal, ASME, 1964.

MOURAD, R. B. A.; SANTOS, J. E. G. Projeto e construção de bancada para verificação do desgaste dos órgãos ativos de implementos agrícolas submetidos à abrasão em quatro tipos de solos. *Engenharia Agrícola*, v.23 n.3, 2003, p.547-555.

NRM, Norma Reguladora de Mineração. Publicada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral, 2002.

NUNNALLY, S. W. Construction methods and management. Ed. Prentice Hall, New Jersey, USA. 2011.

OWSIAK, Z. Wear of symmetrical wedge-shaped tillage tools. Soil Tillage Research, v.50, 1997, p.295-308.

PASSOS, E.A.; LAGE, A.; PRADO, G. GTFPS. Grupo técnico de ferramentas de penetração no solo. Vale do Rio Doce, departamento de cobre. Pará, 2010. p.61.

PEURIFOY, R. L.; SCHEXNAYDER, J. C.; SHAPIRA, A. E SCHMITT, R. L. Construction, planning, equipment and methods. Ed. McGraw-Hill. New York. USA. 2011.

PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo. Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999, p.189.

PINHEIRO, João Cesar de Freitas, A mineração brasileira de ferro e a reestruturação do setor siderúrgico. Tese de Doutorado Universidade Estadual de Campinas, 2000.

QUEIROZ FILHO, Cid Gomes., PEREIRA, Walnir Carvalho & ALVES, Wagner Milagres. Produtividade na lavra. Belo Horizonte: IBRAM, 1997. p.10.

QUEVEDO, J. M. G.; DIALLO, M.; LUSTOSA, L. J. Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 2009. p.133.

Revista Manutenção & Tecnologia, Ed. 181, São Paulo, 2014, p.67.

Revista Manutenção & Tecnologia, Ed. 147, São Paulo, 2011, p.38.

RICARDO, H. S. e CATALANI, G. Manual prático de escavação: Terraplenagem e Escavação de Rocha. Ed. PINI, São Paulo, SP. 2007.

RICHARDSON, R.C.D. The wear of metallic materials by soil. Journal of Agricultural Engineering Research, v.12, 1967, p.22-39.

RIGNEY, D. View point set on materials aspects of wear: introduction. Scripta. Salvador, BA. (2009).

RODRIGUES, L. F., 2006, Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil: Master's thesis;

STAFFORD, J. V.; TANNER, D. W.; The frictional characteristics of a steel sliding on soil. Europe Journal of Soil Science, v.28, n.4, 1977, p.541-553.