

DESGASTE EM ÓRGÃOS ATIVOS DE MOINHOS À MARTELOS

LUIZ VICENTE BOCORNY GENTIL

Engenheiro Agrônomo e Docente da Disciplina de Mecânica, Motores e Máquinas Agrícolas da Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia de Jaboticabal.

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", pertencente à Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Magister Scientiae.

DR. ODILON SAAD
Orientador

Estado de São Paulo - Brasil

1971

Ofereço:

*aos colegas que trabalham pelo ideal
da Engenharia Agrícola no Brasil.*

Homenagem:

à Claudete

Í N D I C E

	Página
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2. <u>REVISÃO DA LITERATURA</u>	
2.1. ESTUDO DO DESGASTE	5
2.2. DESGASTE DOS MARTELOS	19
2.3. CORPOS SILICOSOS	21
3. <u>MECÂNICA DO DESGASTE</u>	
3.1. ESTIMATIVA DAS TENSÕES DE CHOQUE	23
3.2. FÔRÇAS DE DESLIZAMENTO	32
4. <u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	
4.1. ENSAIOS PRELIMINARES	36
4.1.1. ESTUDOS METALOGRAFICOS	36
4.1.2. ENSAIOS DE MOAGEM	38
4.2. ENSAIOS DEFINITIVOS	
4.2.1. SELEÇÃO E DUREZA DOS AÇOS	39
4.2.2. USINAGEM DOS MARTELOS	42
4.2.3. TRATAMENTO TÉRMICO	44
4.2.4. MICROGRAFIAS	46
4.2.5. MONTAGEM DOS MARTELOS	54
4.2.6. MOINHOS À MARTELOS	58
4.2.7. ALIMENTADOR VIBRATÓRIO	61
4.2.8. MATERIAL DE MOAGEM	68

	Página
4.2.8.1. MILHO EM PALHA	68
4.2.8.2. MILHO EM GRÃO	70
4.2.9. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO	71
4.2.10. EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO	74
5. <u>RESULTADOS OBTIDOS</u>	
5.1. ENSAIOS PRELIMINARES	76
5.2. CORPOS SILICOSOS	78
5.3. ENSAIOS DE MOAGEM	80
5.3.1. ENSAIO DE MOAGEM COM MARTELOS DE DUREZA BAIXA, UTILIZANDO MILHO EM GRÃO - EXPERIMENTO A	80
5.3.2. ENSAIO DE MOAGEM COM MARTELOS DE DUREZA BAIXA, UTILIZANDO MILHO EM PALHA - EXPERIMENTO B	83
5.3.3. ENSAIO DE MOAGEM COM MARTELOS DE DUREZA ALTA, UTILIZANDO MILHO EM GRÃO - EXPERIMENTO C	85
5.3.4. ENSAIO DE MOAGEM COM MARTELOS DE DUREZA ALTA, UTILIZANDO MILHO EM PALHA - EXPERIMENTO D	88
5.3.5. EFEITO DO DESGASTE EM MARTELOS DE DUREZA BAIXA, PROVOCADA PELO MILHO EM GRÃO E PELO MILHO EM PALHA	92
5.3.6. EFEITO DO DESGASTE PROVOCADO PELO MILHO EM GRÃO E MILHO EM PALHA, CONSIDERANDO-SE AÇOS DE DUREZA ALTA	94
5.3.7. EFEITO DO DESGASTE ENTRE DUREZAS ALTA E BAIXA, NA MOAGEM DE MILHO EM GRÃO	96

5.3.8. EFEITO DO DESGASTE PROVOCADO PELO MI- LHO EM PALHA ENTRE MARTELOS DE DURE- ZAS ALTA E BAIXA	98
6. <u>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u>	
6.1. DISCUSSÃO DOS EXPERIMENTOS	101
6.2. EFEITO DO PRODUTO AGRÍCOLA DE MOAGEM	104
6.3. NATUREZA DO DESGASTE ABRASIVO	106
7. <u>CONCLUSÕES</u>	111
8. <u>RESUMO</u>	114
9. <u>SUMMARY</u>	116
10. <u>BIBLIOGRAFIA CITADA</u>	118
11. <u>APÊNDICE</u>	
11.1. FOTOGRAFIAS DOS MARTELOS	121
11.2. RELAÇÃO DAS EMPRESAS FABRICANTES DE MOINHOS À MARTELOS	124
11.3. ANÁLISE QUÍMICA DOS AÇOS	126
11.4. LISTA DE FOTOGRAFIAS.....	130
11.5. LISTA DE QUADROS	132
11.6. LISTA DE FIGURAS	135

1 - INTRODUÇÃO

O principal problema de manutenção de moinhos à martelos é a troca dos seus órgãos ativos.

Como no meio rural a mão de obra mais especializada é difícil de encontrar, os moinhos devem apresentar condições máximas de durabilidade, com martelos que resistam ao desgaste o maior tempo possível. Os órgãos ativos além de necessitarem troca pelo desenvolvimento de desgaste, provocam um aumento de temperatura do produto agrícola moido, exigem do moinho maior consumo de potência e produzem um moido mais grosseiro.

Em pesquisa realizada anteriormente, o autor em contato com industriais de máquinas de benefício do Estado de São Paulo, observou que os moinhos à martelos apresentam desgaste excessivo nos seus órgãos ativos devido ao material de qualidade inferior nêle empregado. O uso dêste material está relacionado com a intensa concorrência entre

os fabricantes de moinhos, que os obrigam a lançar no mercado, máquinas de menor preço em detrimento da qualidade. No entanto, dois industriais optaram pelo uso de aços selecionados na construção dos martelos dos **moinhos**, resultando daí um incremento nas vendas

Isto propiciou ao autor a investigar se os moinhos de menor preço poderiam ser superados pelos moinhos construídos com martelos de melhor aço.

Esta investigação consistiu no levantamento do problema junto à dezesseis empresas da indústria de moinhos à martelos do Estado de São Paulo, reconhecimento da necessidade de um estudo que colaborasse na solução do problema, e na realização do presente trabalho. Exceto nas duas empresas anteriormente mencionadas, os fabricantes utilizam o aço SAE 1010 cementado. Este material com o tratamento térmico de cementação, talvez seja o aço mais barato e razoavelmente satisfatório contra o desgaste, desde que completamente cementado. O tratamento termo-químico de cementação é um processo mais caro à medida que aumenta a espessura cementada. Isto resulta que os martelos comumente encontrados no comércio apresentam a seguinte característica: são resistentes ao desgaste no início e enquanto a camada existir, e não depois quando a camada dútil aparecer. Isto resulta num martelo de vida curta, barato e de formato côncavo, conforme mostram as fotografias 21 e 22 (ver apêndice).

Foi feito um levantamento bibliográfico de mi

nhos à martelos, observando-se que referências a desgastes dos seus órgãos ativos é pouco estudada, convergindo tôdas as pesquisas para desempenho e fatôres de projeto tão sômente. Em função disto, o autor procura elucidar um pouco mais o assunto que não foi estudado especificamente - desgaste em órgãos ativos de moinhos à martelos.

Estudando-se metalografia, e com o auxílio de colegas e especialistas, montou-se um plano de trabalho e investigou-se o assunto.

Vários técnicos de outras instituições colaboraram com o autor, como os do Instituto Agronômico de Campinas, Escola de Engenharia de São Carlos, Escola Politécnica de São Paulo, Aços Villares S.A., Instituto de Pesquisas Tecnológicas e Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia de Jaboticabal.

Além do aço SAE 1010 cementado, selecionamos dois aços ferramenta (SAE S₁ e SAE D₂) e dois aços para molas (SAE 5160 e SAE 6150) em função dos esforços solicitados pelo produto agrícola de moagem sôbre o bordo de ataque dos órgãos ativos - desgaste abrasivo de choque e de deslizamento. Pesquisou-se a influência da dureza dos aços na resistência ao desgaste. Os aços mais duros quebram com maior facilidade, embora teòricamente resistam, mais ao desgaste de deslizamento.

Um dos aspectos estudados com mais profundidade foi o milho usado como produto agrícola de moagem, pois

além de ser o mais empregado pelos proprietários rurais de moinhos à martelos, colaboraram como desgastadores dos aços na compreensão da natureza do desgaste dos órgãos ativos . Moeu-se milho em grão e milho em palha para contribuir na elucidação dêste fenômeno. Mesmo assim não é possível quantificar a participação do desgaste de deslizamento e do desgaste de choque nesta pesquisa, tão somente uma indicação é feita, observando-se os resultados obtidos.

Novas pesquisas devem ser feitas para continuar o estudo do assunto de desgaste abrasivo, pois é bem grande a quantidade de máquinas agrícolas beneficiadas com o uso de aços resistentes ao desgaste.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - ESTUDO DO DESGASTE

ROSENBERG, S.J. et alii (1964) definem o desgaste como sendo um fenômeno essencialmente superficial e que consiste na desagregação gradual e mecânica do contato de superfícies. O desgaste ocorre pelo deslocamento e des-tacamento de partículas metálicas de uma superfície de me-tal.

Este processo pode ser de metal contra metal, metal contra não metal ou metal contra líquidos ou gases.

A resistênciã ao deslocamento de partículas metálicas da superfície de metal está condicionada ao tipo de contato, e quando este é do tipo de metal contra não me-tal - desgaste abrasivo - pode o mesmo ser provocado por deslizamento, rolamento ou choque, conforme a maneira de contato das superfícies.

A resistência ao desgaste não é uma característica própria do metal que possa ser considerada por si mesma. Torna-se muito complexa por muitos fatores, e não pode ser determinada separadamente das condições de serviço. É resultante do próprio metal, do material de contato e das condições de operação de serviço. Em combinação, estes fatores provocam diferentes tipos de desgaste.

O desgaste é uma das influências mais destrutivas a que os metais estão sujeitos, e a sua complexidade é enfatizada considerando-se a quantidade de variáveis envolvidas simultaneamente.

ROSENBERG, S.J. et allii (1964) qualificam as variáveis que produzem desgaste como segue:

I - VARIÁVEIS RELACIONADAS COM METALURGIA:

- A - DUREZA
- B - TENACIDADE
- C - ESTRUTURA
- D - COMPOSIÇÃO QUÍMICA

II - VARIÁVEIS RELACIONADAS COM SERVIÇO .:

- A - MATERIAL DE CONTATO
- B - PRESSÃO
- C - VELOCIDADE
- D - TEMPERATURA
- E - ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE

III - OUTRAS VARIÁVEIS

A - LUBRIFICAÇÃO

B - COROSSÃO

A natureza do mecanismo que provoca o deslocamento e destacamento de partículas de metal da superfície metálica é diferente quando consideramos forças de deslizamento e forças de choque.

Em geral, uma substância é riscada somente por materiais mais duros do que ela própria, e a maior proteção contra este desgaste de deslizamento baseia-se neste princípio. Se o fenômeno do desgaste fôsse tão somente provocado pelo deslizamento, a dureza plena seria a solução.

Corpos estranhos como pregos, parafusos ou mesmo ferramentas, entram ocasionalmente no rotor do moinho, exigindo material resistente ao choque.

A teoria do desgaste provocado pelo choque entre um corpo metálico e um não metálico, conforme ROSENBERG, S.J. et alli (1964) admite que durante um tempo de contato entre os dois elementos, surgem tensões de cisalhamento sobre um ponto ou sobre uma lâmina, em que tenha sido aplicado um fluxo de material qualquer. Estas tensões desenvolvidas sobre a superfície do material, podem facilmente exceder a sua tensão elástica, e se o mesmo é frágil, pode quebrar facilmente. A extrema fragilidade ou uma perfeita clivagem, reunida à elevada dureza, é favorável a este tipo de quebra.

Quando o material cede devido a deformação elástica, as tensões sobre o material ficarão aliviados e irão dar lugar a uma maior resistência à quebra.

Tôdas as variáveis mencionadas por ROSENBERG, S.J. et allii (1964) são levadas em consideração nesta tese e analisadas individualmente. Procurou-se minimizar o efeito do desgaste nos martelos levando-se em conta a participação de cada uma.

Em função destas considerações, o desgaste dos órgãos ativos deve ser analisada mais profundamente, levando em conta todos os parâmetros que estão presentes no processo de desgaste.

A seguir é feito um estudo das diferentes variáveis que influem no processo do desgaste.

I - VARIÁVEIS RELACIONADAS COM METALURGIA

A - DUREZA

CHIAVERINI, V. (1965) informa que a dureza é o fator mais importante para que o metal resista à penetração inicial pela partícula abrasiva, ocasionando o arrancamento da partícula metálica.

ROSENBERG, S.J. et allii (1964) dizem que a alta dureza tende a diminuir o desgaste, tornando o material resistente à penetração, risco e deformação. De uma forma

geral, a resistência ao desgaste não está correlacionada com a dureza; o importante é a maneira pela qual o desgaste se processa.

SILVEIRA, G.M. (1970) informa que a dureza 53 Rc foi mais resistente ao desgaste do que 44 Rc, 47 Rc e 50 Rc do mesmo aço, evidenciando a importância da dureza no processo abrasivo.

B - TENACIDADE

ROSENBERG, S.J. et alii (1964) dizem que a clvada tenacidade permite que o metal receba grandes tensões sobre a sua superfície, a qual deforma elasticamente e não permite a quebra de suas estruturas cristalinas. Esta variável é particularmente importante para a resistência ao desgaste provocado pelo choque.

CHIAVERINI, V. (1965) diz que quanto maior for o valor da tenacidade, maior será a dificuldade de arrancamento de partículas metálicas, quaisquer que sejam as causas possíveis de produzir desgaste. A tenacidade proporciona redução do desgaste, pois torna o material resistente ao arrancamento de partículas da superfície deformada.

Quando as tensões são elevadas sobre a superfície do metal, a dureza e a tenacidade do aço são os fatores mais importantes, segundo ROSENBERG, S.J. et alii (1964).

C - ESTRUTURA

CHIAVERINI, V. (1965) considera que a estrutura é outro fator ponderável e que deve ser levado em conta na resistência ao desgaste. Tal autor comenta que em uma estrutura metalográfica de duas fases, a presença de partículas relativamente grandes formadas de um material de baixa dureza e portanto vulnerável, numa matriz dura, prejudica a sua resistência ao desgaste, ainda que o conjunto seja duro. De outra forma, se a estrutura apresenta uma constituição de partículas duras - carbonetos geralmente - embebidos em uma matriz mole, ela possuirá maior resistência ao desgaste, principalmente quando estas partículas duras não são excessivamente frágeis, pequenas em tamanho e uniformemente distribuídas na matriz. Se as partículas fossem muito frágeis, sofreriam clivagem durante o processo de choque.

SILVEIRA, G.M. et alii (1970) informam que possivelmente as estruturas mais resistentes ao desgaste sejam aquelas encontradas em aços ferramenta, onde estão presentes carbonetos em matriz martensítica.

Conforme ROSENBERG, S.J. et alii (1964) uma estrutura apresentando grãos pequenos pode minimizar a quebra das estruturas e conseqüentemente o desgaste que ocorre pela clivagem dos cristais microscópicos representados pelos carbonetos frágeis.

SILVEIRA, G.M. (1969) conclui que a microestrutura formada com martensita revenida e com dureza

a 48 Rc, é mais resistente ao desgaste quando comparada com microestrutura formada de perlita e ferrita com durezas entre 90 a 95 Rb.

D - COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Os aços são classificados em função de sua composição química e em função do serviço a que estão destinados.

SCHEER, L. (1966) informa que o elemento de liga confere propriedades específicas no metal.

CHIAVERINI, V. (1965) diz que uma composição química conveniente pela introdução de teores elevados de liga, promove a resistência ao desgaste dos metais.

WAGANOFF, N.P. (1956) aconselha o uso de aços ao cromo para a construção de órgãos ativos de moinhos à martelos móveis.

SILVEIRA, G.M. (1970) conclui que o teor de carbono dos aços é um fator importante, sendo que o desgaste diminui com o seu aumento.

II - VARIÁVEIS RELACIONADAS COM SERVIÇO

A - MATERIAL DE CONTATO

Os autores que estudam desempenho de moinhos à martelos móveis, utilizam como matéria prima, principal-

mente milho em grão, aveia, cevada, centeio e trigo para os ensaios experimentais.

No Estado de São Paulo, através de informações de fabricantes de moinhos à martelos, já que estatísticas oficiais não existem, os dois principais produtos - materiais de contato - são o milho em grão e o milho em palha. O milho em grão é o mais utilizado entre os dois citados, sendo mais empregado pelas indústrias moageiras que beneficiam o produto para fins humanos. O milho em palha é de uso amplo no meio rural pois é utilizado no arraçamento de animais domésticos como gado vacum e cavalari, suínos e aves, conforme MORRISON, F.B. (1966).

Pode-se dizer fundamentado na produção das indústrias de moinhos, que quase todo o milho que é beneficiado pela moagem, passa pelo trabalho executado pelo moinho à martelos.

A teoria do desgaste pelo choque, aliada à equação que rege o fenômeno de força de colisão, mostra que as tensões desenvolvidas são proporcionais à massa da partícula que colide com o martelo. A massa da partícula de milho em grão e a do milho em palha apresenta uma diferença tão grande que justifica o uso de dois tipos de material de contato, visando esclarecer o fenômeno um pouco mais. Esta variável é introduzida neste trabalho.

No capítulo 4.2.8. - é feito um estudo quantitativo desta variável, tanto no milho em grão, como

no milho em palha.

B - PRESSÃO

Em função do princípio de funcionamento do moinho (choque) segundo PUCKET, H.B. e DAUM, D.R. (1968) o contato entre o órgão ativo e o material de moagem, provoca o desenvolvimento de tensões elevadas -grandes pressões- capazes ou não de quebrar as estruturas metalográficas e desenvolver desgaste.

No capítulo 3.1. é feito um estudo teórico das tensões estimadas desenvolvidas pelo processo de moagem em moinhos à martelos.

C - VELOCIDADE

ROSENBERG, S.J. et alii (1964) informam que na teoria do desgaste provocado pelas tensões de choque, as estruturas mais duras vão quebrando pela clivagem. Admitindo que o desgaste seja provocado tão somente pelo choque, observamos que as forças de choque são proporcionais a velocidade do deslocamento dos martelos, na equação (3) do capítulo 3.1.

D - TEMPERATURA

SILVER, E.A. (1931) investigando desempenho de moinhos à martelos, mostra dados de aumento de temperatura do produto moido, os quais acreditamos insignificantes.

para serem capazes de modificar uma estrutura metalográfica. Os dados abaixo dão as condições de trabalho em que houve o máximo aumento de temperatura.

QUADRO 1. - Acréscimo máximo de temperatura experimentado pelo produto agrícola, indicando condições de ensaio, conforme SILVER, E.A. (1931).

PRODUTO	Nº ENS.	TEMP. AMB. °C	AUM. MÁX. TEMP. °C	UMIDADE U. R. PRODUTO	AMB.	ROTAÇÃO MOINHO
MILHO GRÃO	24	21,5	11,8	9,6	36	2.000
MILHO PALHA	24	22,2	11,1	9,9	48	3.312

ROSENBERG, S.J. et alii (1964) informam que a resistência ao desgaste que envolve temperatura, como no caso de lonas de freio, é também influenciado pela fragilidade do metal, em que gradientes de temperatura são mais importantes do que a energia cinética de choque. A capacidade de absorver tensões é ajudada pela plasticidade do metal. Um metal com pequeno módulo de elasticidade, como ferro fundido é geralmente considerado mais resistente à quebra devido a temperatura do que o ferro fundido branco duro.

E - ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE

CHIAVERINI, V. (1965) comenta que o acabamento da superfície metálica é um dos fatores que resiste ao

desgaste, na qual, a superfície deve ser tão macia e plana quanto possível, de modo a eliminar-se as depressões e projeções que coincidindo uma com as outras, produzem o arrancamento de partículas metálicas, além de elevar a temperatura.

ROSENBERG, S.J. et alii (1964) esquematizam o fenômeno do desgaste, independente do tipo ou condição, a partir de superfícies microscópicas irregulares, onde partículas abrasivas atuam esmerilhando ou quebrando as estruturas dos metais.

III - OUTRAS VARIÁVEIS

A e B - LUBRIFICAÇÃO E COROSSÃO

CHIAVERINI, V. (1965) informa que a introdução de uma película lubrificante entre dois metais, separa as superfícies, eliminando o contato metálico. Tal autor não faz referência à lubrificação de metal contra não metal.

Referindo-se a teôres de matéria sêca, MORRISON, F.B. (1966) indica valores médios de 3,8% a 4,0% e 3,0% de matéria graxa no milho em grão e no milho em palha respectivamente.

CHIAVERINI, V. (1965) nos mostra que a corrosão pode ser considerada como um ataque gradual e contínuo de um metal por um meio circunvizinho, o qual pode ser um

meio químico, líquido ou gasoso. Como resultado destas reações químicas, são obtidos produtos como óxidos e sais. O tipo mais comum é a atmosférica, a qual leva o metal a sua destruição.

CHIAVERINI, V. (1965) resume que a escolha do aço apropriado para uma determinada aplicação, deve ser feita levando em conta não só as características imprescindíveis para o caso, como também o comportamento do material durante as operações, a própria forma na ferramenta e o custo. Indicando em uma tabela o primeiro passo para a seleção do aço, o autor especifica que para a percussão, a principal característica é a tenacidade, e a característica **secundária** é a resistência ao desgaste. A tenacidade é uma característica importante no caso da resistência ao desgaste provocado pelo choque.

Dois grandes grupos de aços reúnem as características exigidas em nosso caso. São os aços para molas e aços para ferramentas.

(a) Aços para molas.

CHIAVERINI, V. (1965) conclui que os aços para molas apresentam as seguintes propriedades:

- altos valores para os limites de elasticidade ou de proporcionalidade sob tensão ou para limite de proporcionalidade sob torção, para que possa suportar apreciáveis

cargas sem apresentar deformação permanente.

- alto limite de fadiga.
- elevada resistência.

Para condições mais severas de serviço, em que se exigem principalmente maiores valores de resistência à tração e de elasticidade, além do comportamento a temperaturas mais elevadas, recorre-se a aços de baixo teor de liga, entre os quais os mais importantes são o aço SAE 6150 e o aço SAE 9260 CHIAVERINI, V. (1965).

O aço SAE 5160, sendo um aço liga de baixo preço, tem sido utilizado com sucesso pela Cia. Penha de Máquinas Agrícolas de Ribeirão Preto; e em casos especiais pela Machina D'Andrea, de Limeira, ambos de São Paulo.

SILVEIRA, G.M. (1970) conclui que o aço SAE 5160 quando comparado com o aço SAE 1070, SAE 1040 e SAE 5119, foi o que melhor se comportou, sofrendo menor desgaste abrasivo de deslizamento em órgãos ativos de cultivador.

(b) Aços para ferramentas e matrizes.

As características fundamentais dos aços ferramentas e matrizes são as seguintes, conforme CHIAVERINI, V. (1965):

- alta dureza a temperatura ambiente e a quente.

- alta resistência ao desgaste.
- temperabilidade satisfatória.
- tenacidade apreciável.
- resistência mecânica elevada
- tamanho de grão adequado.

Conforme CHIAVERINI, V. (1965), a classificação dos aços para ferramentas e matrizes compreendem os seguintes grupos:

- I - aços temperáveis em água
- II - aços para trabalho a frio ou indeformáveis
- III - aços resistentes ao choque
- IV - aços para trabalho a quente
- V - aços rápidos
- VI - aços para fins especiais

RAUTER, R.O. (sem data), informa que o aço D₂ é o mais tenaz do grupo, e apresenta excepcional resistência ao desgaste, devido ao alto teor de carbonetos de cromo, sendo estes carbonetos altamente resistentes ao desgaste.

CHIAVERINI, V. (1965), mostra em tabelamento dos aços indeformáveis, que os mesmos têm excelente resistência ao desgaste e pequena tenacidade.

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1969) classificou os aços conforme a composição química na norma P-NB-82, na qual os aços SAE 1010, SAE 5160, SAE

6150, são designados respectivamente ABNT 1010, ABNT 5160, ABNT 6150. No entanto esta associação ainda não classificou os aços ferramenta, dos quais fazem parte os aços SAE S₁ e SAE D₂. Como ainda persiste esta lacuna na classificação brasileira, e com o fito de tratarmos com uma só, adotaremos a classificação SAE.

2.2. DESGASTE DOS MARTELOS

WAGANOFF, N.P. (1956) informa que dentre todos os tipos conhecidos, os moinhos à martelos são os menos estudados sob o ponto de vista teórico, embora de uso muito difundido.

PUCKET, H.B. e DAUM, D.R. (1968) indicam que os moinhos à martelos baseiam-se no princípio da percussão proveniente da alta rotação dos martelos contra as partículas do produto que será moído.

DENCKER, C.H. et alii (1966) informam que o mecanismo do moinho à martelos se baseia principalmente na divisão que sofrem os grãos ao colidirem com os órgãos ativos de percussão e também pelo lançamento dos grãos ao irem contra os cantos vivos ou superfícies ásperas que formam a parte interna do moinho, participando para êste efeito algumas forças de atrito e desgaste, ainda que em pequena escala.

WAGANOFF, N.P. (1956) informa que a energia consumida pelos moinhos é subdividida em energia útil de

moagem e em resistências nocivas, como atrito desenvolvido entre as peças da máquina, atrito interno do produto de moagem e atrito entre o produto e as peças da máquina.

DUFFEE, F.W. (1930) estudando desempenho de moinhos, e usando martelos gastos e martelos novos, determinou que a moagem de produto agrícola com martelos gastos produz um moido grosseiro, trabalham com eficiência reduzida indicando a importância do uso de martelos temperados pelo tratamento térmico.

SILVER, E.A. (1931) indica que todos os martelos de moinhos são trocados quando o desgaste aparece, podendo ser substituídos quatro vezes.

VUTZ, W. (1931) informa que os martelos farão bom trabalho enquanto os cantos estiverem quadrados e afiados. Isto torna obrigatório o uso da têmpera dos martelos, sendo que os construídos com aços temperados farão excelente trabalho de moagem. Eles são facilmente trocados quando desgastados e sem a sua forma original. Este autor indica que os martelos de centro mole são desgastados anormalmente e apresentam o bordo de ataque côncavo com o uso.

WAGANOFF, N.P. (1956) indica que a desvantagem dos moinhos à martelos é o rápido desgaste dos seus órgãos ativos, sendo necessário um processo siderúrgico de têmpera, seguido de revenido dos aços empregados nos martelos.

DENCKER, C.H. et alii, (1966) informam que os

órgãos ativos de moinhos à martelos estão sujeitos ao desgaste, sendo necessário trocá-los, pois vão ficando redondos e perdendo seus cantos vivos. Tal autor comenta ainda que os martelos são muito sensíveis à uma alimentação pouco contínua, necessitando um fluxo constante de material que se rá moido.

Considerando em primeira linha a resistência ao desgaste e a tenacidade, CREMER, H. (1970) informa que estas parecem ser as duas características principais no caso específico de órgãos ativos de moinhos à martelos.

As informações dos autores mencionados anteriormente dão uma idéia muito vaga sem considerar nenhuma variável em específico e causadora do desgaste nos órgãos ativos de moinhos à martelos. Devido a êste fato, êste trabalho não vem resolver nenhum problema, mas sim contribuir com a elucidação de alguns pontos do assunto.

2.3. CORPOS SILICOSOS

SHARP, R.B. (1962) estudando sílica em vegetais, informa que órgãos ativos e peneiras de moinhos à martelos, assim como facas de colhedoras, sofrem desgaste provocado por corpos silicosos. Êstes corpos silicosos podem ser provenientes do solo ou do próprio vegetal.

SILVEIRA, G.M. et allii (1970) pesquisaram corpos silicosos do solo e encontraram dureza 1560 H V (dureza superior a 70 Rc) para grãos de quartzo, os quais a

presentou 87,98% no solo série sertãozinho, e 96,80% no solo série Latosol Vermelho Amarelo Orto. Como é possível observar, os grãos de quartzo do solo são mais duros do que os aços ensaiados. Este fato nos motivou a estudar corpos silicosos no material de moagem, e como estão presentes, devem participar do processo de desgaste em órgãos ativos de moinhos à martelos.

A análise química foi feita conforme o método citado no trabalho de SHARP, R.B. (1962), constando de uma calcinação a 550°C, lavagem em ácido clorídrico a 5%, lavado em água para eliminação dos sais, e sêco em estufa. A observação microscópica dos corpos silicosos mostrou a presença de diferentes estruturas silicosas.

Nêste trabalho detetou-se grãos de quartzo tanto no milho em grão como no milho em palha. SILVEIRA, G.M. (1969) informa que no solo, onde há maiores grãos de quartzo, onde os mesmos são mais angulosos e onde a sua quantidade é superior, o desgaste provocado nos aços das máquinas agrícolas, sujeito a desgaste abrasivo de deslizamento é maior.

3 - MECÂNICA DO DESGASTE

3.1. ESTIMATIVA DAS TENSÕES DE CHOQUE

O estudo do choque entre o órgão ativo do moinho à martelo móvel e a partícula de produto agrícola de moagem só pode ser feito com base em estimativas da dinâmica da máquina, devido a ausência de cálculos já feitos. Este estudo fica então sujeito a comprovação experimental. Este trabalho é uma contribuição ao estudo teórico da mecânica do desgaste de choque e de deslizamento dos martelos dos moinhos.

A figura seguinte contém: a) esquema do moinho à martelos em processo de moagem, b) órgão ativo sem ação, e em c) o mesmo em ação.

O produto a ser moido cai em queda livre com uma velocidade $V_1 = \sqrt{2 g x}$ e massa m_1 .

onde : g = aceleração da gravidade local

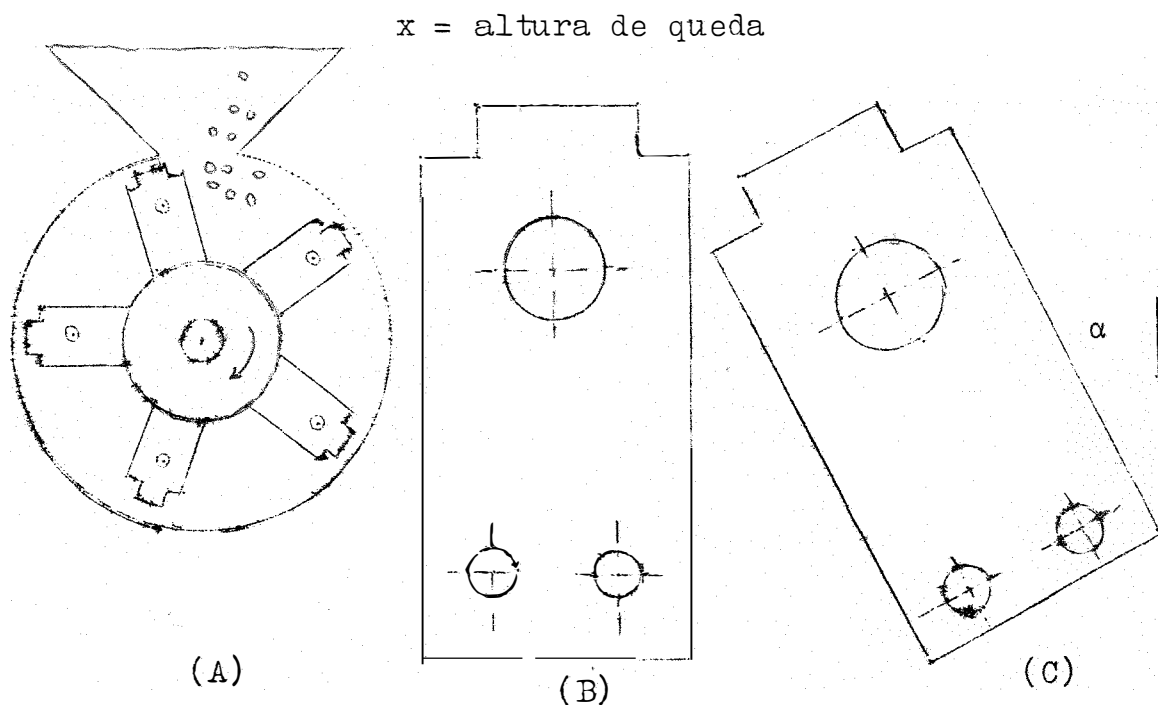


FIGURA 1. - Órgãos ativos de moinhos à martelos.

O órgão ativo de massa m_2 desloca-se com movimento circular como indica a FIGURA 1 com uma velocidade $V_2 = 2 \pi RN$;

onde : R - raio

N - rotações por minuto

As noções de Impulso e Momento encontram uma aplicação importante no estudo do choque de corpos, que caracteriza-se pelo fato das forças em jogo atuarem durante um pequeno período de tempo. Como o tempo de contato é igual para ambos corpos em colisão, a força ativa e a reativa são iguais em intensidade e opostas em sentido, como in-

dicam as equações (1) e (2) de choque.

$$\int_0^t F dt = m_1 \Delta V_1 \quad (1)$$

$$\int_0^t (-F) dt = m_2 \Delta V_2 \quad (2)$$

onde: F - intensidade da força durante o choque

t - tempo

m - massa

V - velocidade

Admitindo que a intensidade de força seja constante durante o intervalo de tempo t de duração do choque, podemos escrever (1) como:

$$F = \frac{m_1 \Delta V_1}{\int_0^t dt} = \frac{m_1 \Delta V_1}{\Delta t} \quad (3) \text{ e } (4)$$

A estimativa da tensão desenvolvida sobre o bordo de ataque do martelo de moinho de ração depende da

profundidade de penetração da partícula do produto a ser moído. Como a espessura do órgão ativo é constante, a tensão desenvolvida é dada pela equação (5) onde a profundidade é o fator mais importante.

$$\sigma_c^{\text{mín}} = \frac{F}{\Delta x \cdot M} \quad (5)$$

onde: F - intensidade da força durante o choque

Δx - profundidade de penetração da partícula de moagem

M - espessura do órgão ativo

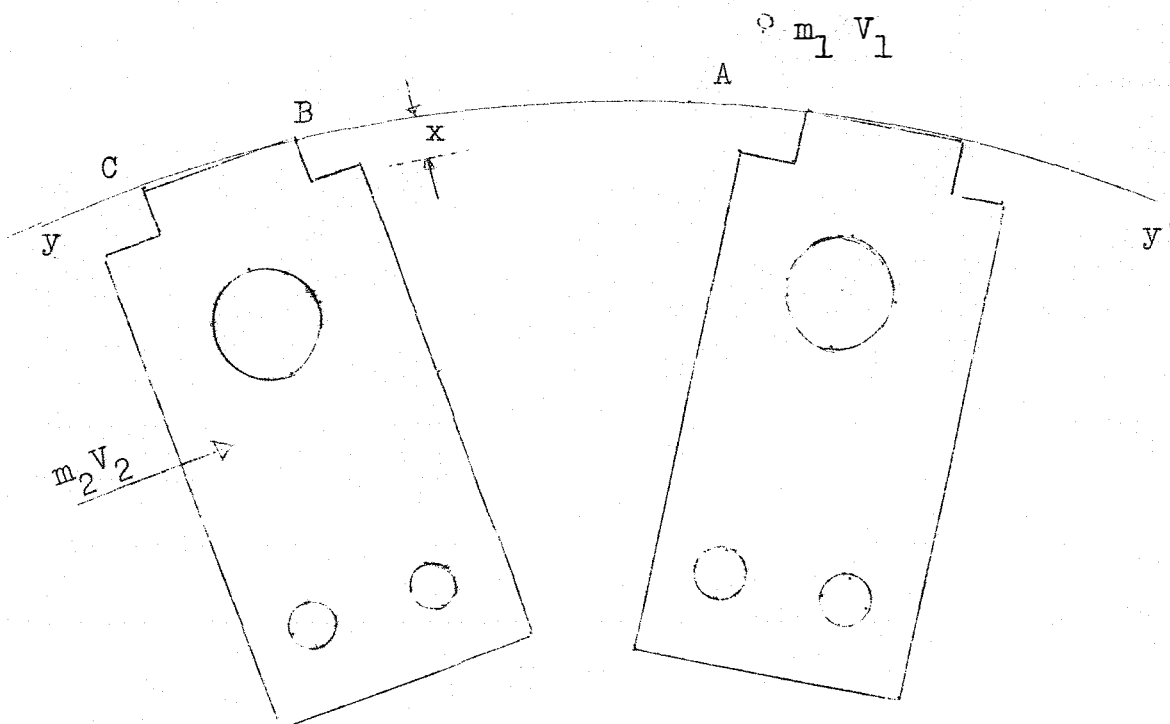


FIGURA 2. - Deslocamento do órgão ativo.

Observando a figura anterior, notamos a partícula do produto de moagem em fase de queda livre no momento em que o órgão ativo se desloca para encontrá-la e produzir choque. Este choque além de proceder à divisão do produto de moagem, produz desgaste pela quebra das estruturas cristalinas que se encontram nos aços.

Seja Δtr o tempo decorrido entre a passagem de A até B, e seja Δt o tempo entre a passagem sucessiva de A até C. Então vem que:

$$\Delta tr = \Delta t - \frac{\ell \cdot \tau}{2 \pi \cdot R} \quad \text{ou}$$

$$\Delta tr = \frac{1}{p \cdot n_s} - \frac{\ell}{2 \pi R \cdot n_s} \quad \text{ou}$$

$$\Delta tr = \frac{1}{n_s} \left(\frac{1}{p} - \frac{\ell}{2 \pi R} \right) \quad (6)$$

onde: n_s - rotações por segundo do rotor da máquina.

p - número de martelos

ℓ - largura do órgão ativo

R - raio máximo de rotação do martelo

τ - período ($1/n_s$)

A profundidade Δx alcançada por uma partícu

la no rotor do moinho durante o tempo de deslocamento de A até B vale: a equação horária seguinte:

$$(\Delta x)^{\text{máx.}} = V_1 \Delta tr + 1/2 g (\Delta tr)^2 \quad (7)$$

A velocidade inicial da partícula que cai em queda livre vale $V_0 = \sqrt{2 g x}$, onde x é a altura de queda da partícula antes de chegar a altura correspondente a cabeça do martelo.

Substituindo (6) em (7), vem que:

$$(\Delta x)^{\text{máx.}} = \frac{\sqrt{2 g x}}{n_s} \left(\frac{1}{p} - \frac{l}{2 \pi R} \right) + \frac{g}{2 n_s^2} \left(\frac{1}{p} - \frac{l}{2 \pi R} \right)^2 \quad (8)$$

Como a segunda parte da equação (8) não atinge 1% de Δx , podemos desprezá-la, e considerar a equação (9) como aquela que fornece a profundidade de penetração de uma partícula que cai em queda livre no rotor de um moinho à martelos.

$$(\Delta x)^{\text{máx.}} = \frac{\sqrt{2 g x}}{n_s} \left(\frac{1}{p} - \frac{l}{2 \pi R} \right) \quad (9)$$

Substituindo as equações (4) e (9) em (5), surge a equação da tensão mínima estimada sobre o bordo de ataque dos órgãos ativos de moinhos à martelos móveis:

$$(\sigma_c)_{\min} = \frac{m_1 \cdot \Delta V_1 \cdot n_s}{\Delta t \cdot M \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot x} \cdot \left(\frac{1}{p} - \frac{2}{2 \cdot \pi \cdot R} \right)} \quad (10)$$

Analizando a equação (5), observamos que o denominador Δx é função da posição do martelo durante o processo de moagem. Se a partícula inicia a entrada na linha $y-y'$ do rotor exatamente na posição A, então Δx será o maior possível, resultando em uma maior área de choque e desenvolvendo tensão mínima conforme mostra a equação.

Como o fluxo teórico de queda de partícula é constante dentro do moinho, a probabilidade da partícula encontrar um martelo é igual tanto para a posição A como para a B. Notamos que quando a partícula cai com o martelo em B, Δx vale zero. Entre valores de Δx máximo e Δx mínimo, observamos que a equação (5) fornece tensões de choque que vão de um mínimo, dado em (10), ao infinito, à medida que Δx tende a zero.

As tensões da equação (10) fornecem valores considerados pequenos e insuficientes para quebrar uma estrutura cristalina dos aços e provocar desgaste em consequência. No entanto, os valores desta equação sobem muito à medida que Δx tende a zero e sendo provavelmente capazes de quebrar estruturas cristalinas. Não é possível afirmar se o desgaste é provocado pelo choque ou pelo deslizamento, mesmo com uma consideração teórica básica.

As estimativas adiante citadas nos exemplos,

dão uma idéia das tensões provocadas pelas partículas de milho em grão e milho em palha, tanto para Δx máximo como para 5% de Δx . Já sabemos que para Δx igual a zero, a tensão de choque é infinita. Os valores usados para as estimativas são tiradas da dinâmica da máquina de ensaio de moagem utilizada, assim como indicação de autôres.

Parâmetro	Descriminação	Unidade	Valor
σ_c	tensão de choque	Kg/mm ²	
m_1	massa da partícula	Kg.s ² /mm	
V	velocidade da partícula ou do martelo móvel	mm/s	77.000
M	espessura do órgão ativo	mm	6
g	constante local da gravidade	mm/s ²	9.810
x	altura de queda da partícula do produto	mm	400
n_s	rotação do rotor	rot/s	46,4
p	número de martelos	-	5
l	largura do martelo	mm	38
R	raio máximo do martelo ao centro do rotor	mm	280
t	tempo de choque	s	0,00001

Exemplo 1:

Estimativa das tensões de choque com partículas de grão de milho (pêso de 0,24g), e Δx máximo.

$$(\sigma_c)^{\text{mín}} = 2,28 \text{ Kg/mm}^2$$

Exemplo 2:

Estimativa das tensões de choque com grão de milho e 5% de Δx máximo.

$$\sigma_c = 58,0 \text{ Kg/mm}^2$$

Exemplo 3:

Estimativa das tensões de choque com partículas de espigas de milho (pêso de 120,3 g), e Δx máximo.

$$(\sigma_c)^{\text{mín}} = 1.105 \text{ Kg/mm}^2$$

Exemplo 4:

Estimativa das tensões de choque com partículas como no caso anterior e com 5% do valor Δx máximo.

$$\sigma_c = 23.800 \text{ Kg/mm}^2$$

O estudo estimativo das tensões de choque demonstram que o milho em grão não produz tensão elevada. No caso de milho em palha (espiga), as tensões são elevadas quando Δx é máximo, e elevadíssimo quando Δx é 5% do seu valor total.

3.2. FÔRÇAS DE DESLIZAMENTO

A figura 3 fornece o esquema da ação de um órgão ativo deslocando-se contra o produto a ser moido. Como estas considerações são preliminares no estudo da dinâmica de martelos de moinhos, admitiremos que o produto é tão sò-mente arremessado, sendo inelástico neste momento.

A partícula cai em queda livre com massa m_1 e animada de uma velocidade $V_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot x}$. O órgão ativo por sua vez se desloca com velocidade V_2 citada no capítulo anterior e massa m_2 .

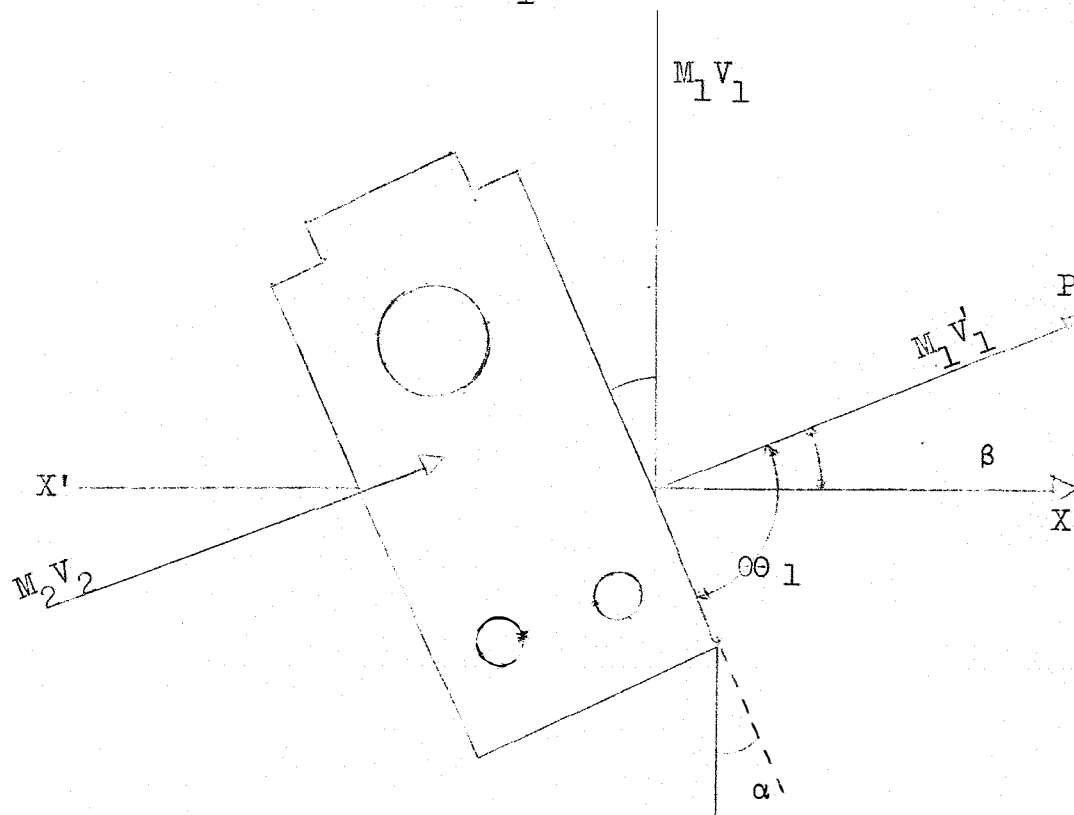
Pela ação de choque, a partícula é arremessada na direção P animada com uma velocidade V_1' , massa m_1 e desenvolvendo com o plano horizontal $x-x'$, um ângulo denominado ângulo de arremêso.

Os martelos mantêm-se na posição radial em função da fôrça centrífuga e deflexionados de um ângulo α durante o processo de moagem. Tal deflexão é motivada pelos constantes golpes produzidos pelos martelos contra as partículas durante o processo de moagem. A participação desta deflexão permite o aparecimento de uma componente que provoca o desgaste de deslizamento do produto sôbre o bordo de ataque do órgão ativo, conforme veremos adiante.

A seguinte igualdade é tirada em função dos ângulos e fornece a direção teórica de arremêso da partícula em relação ao plano $x-x'$.

$$\theta_1 = 90 + \beta - \alpha \quad (11)$$

$$\beta = \alpha + \theta_1 - 90 \quad (12)$$



(A)

FIGURA 3. - Fôrças que atuam sôbre o órgão ativo de moinhos à martelos.

Como na realidade a partícula é elástica, ela é comprimida, permanece achatada um tempo Δt sôbre o bordo de ataque e tenta deslocar-se de B para A devido a natureza do movimento circular e à deflexão do martelo. Decompondo a

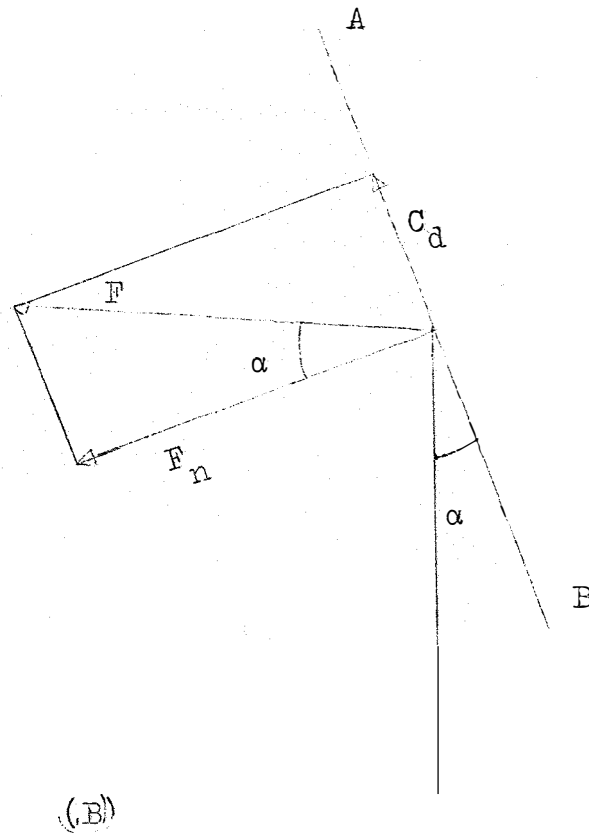


FIGURA 4. - Fôrças que atuam sôbre o órgão ativo de moinhos à martelos.

fôrça F de choque em função do plano $A-B$, surge uma componente C_d . Esta componente C_d de deslizamento, embora percorra um espaço muito pequeno sôbre a superfície de bordo de ataque do órgão ativo, é suficiente para provocar desgaste por deslizamento, devido a intensidade da normal F_n , tal que:

$$F_n = F \cdot \cos \alpha \quad (13)$$

Das leis do atrito, tiramos a equação $C_d = \mu F_n$ (14), onde estão relacionadas duas fôrças entre si, em função do coeficiente de atrito .

Este fato é importante levando em consideração que um tipo de produto moído (milho em grão) tem maior teor de matéria graxa, resultando um valor de μ que tende a ser menor. Substituindo (13) em (14).

$$C_d = \mu F \cos \alpha \quad (15)$$

A equação (15) indica a intensidade da força que provoca o deslizamento da partícula sobre o bordo de ataque do órgão ativo. Esta componente C_d é a responsável pela participação do desgaste por deslizamento, pois impele a partícula abrasiva sobre a superfície do bordo de ataque do martelo do moinho.

A componente C_d responde pelo deslizamento da partícula sobre a superfície em um pequeno espaço Δl . Se a partícula fôsse inelástica, êste deslizamento não existiria, mesmo com o surgimento da deflexão pois a ação de contato seria punctual e instantânea.

Exemplo 1:

Faz-se abaixo uma estimativa das forças de deslizamento da partícula sobre o bordo de ataque, para as premissas estabelecidas anteriormente. Tomando como base a equação () e (), vem que $F = 18.526,1$ kg para milho em palha e $F = 36,9$ kg para milho em grão. Se a deflexão α vale 5° e o coeficiente de atrito dinâmico entre o aço e o milho vale 0,3, vem que:

$$C_d = 5.557 \text{ kg (milho em palha)}$$

$$C_d = 11 \text{ kg (milho em grão)}$$

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ENSAIOS PRELIMINARES

4.1.1. ESTUDOS METALOGRÁFICOS

A realização dos experimentos iniciais permitiu o uso de práticas mais corretas nos ensaios definitivos, pois indicaram defeitos do material e do uso dos mesmos.

Dois aspectos foram analisados no término dos ensaios, como seguem adiante.

(a) Seleção da dureza

Dos quatro aços selecionados, três tiveram dureza aproximada 50 Rc, e o quarto, por motivo de descuido no revenido teve dureza 56 Rc. Este último revelou-se mais resistente ao desgaste do que o colocado em segun-

do lugar. Levando em consideração que a dureza é um dos fatores principais contra o desgaste, adotamos o uso de duas durezas nos ensaios definitivos.

(b) Tratamento térmico

Realizaram-se operações de têmpera e de revenido dos aços ensaiados, para observação de uso posterior de temperatura e de tempos de tratamento térmico. Notadamente os dados de revenido foram importantes pois indicaram valores de temperaturas capazes de dar variação máxima de 1 Rc em torno daquela dureza definitiva dos ensaios futuros. A técnica de tratamento térmico foi aperfeiçoada, haja visto ter surgido problemas da descarbonetação superficial devido ao mau emprêgo da substância protetora durante os ensaios preliminares de têmpera (carboneto de cálcio). Da mesma forma usou-se nos ensaios preliminares um pequeno volume de óleo para têmpera, fazendo com que não fôsse conseguida uma estrutura metalográfica conforme o desejado, pois o mesmo estando com temperatura elevada, não permitiu a formação total de martensita em alguns aços.

Os aços com alto teor de liga (SAE S₁ e SAE D₂) necessitam de um aquecimento gradual para a dissolução completa dos carbonetos da estrutura. Nos ensaios preliminares êstes cuidados não foram considerados, resultando no aparecimento de carbonetos grosseiros e não uniformemente distribuídos na matriz.

O QUADRO 2 é o resumo dos resultados metalográficos obtidos durante os ensaios preliminares.

4.1.2. ENSAIOS DE MOAGEM

Devido aos muitos êrros cometidos durante os ensaios preliminares de moagem, tivemos a oportunidade de aperfeiçoar vários detalhes para os testes definitivos, assim como reconhecer que uma ampliação do trabalho proporcionaria maior número de conclusões úteis no estudo de desgaste de órgãos ativos de moinhos à martelos.

(a) Martelos

A usinagem dos martelos foi feita com o auxílio de plaina limadora e sem acabamento ideal de superfície dos martelos para obter-se igualdade de condições de ensaio. Como os aços já estavam temperados, o serviço de plaina foi grosseiro, tornando os martelos sem uma espessura igual para todos. De outro lado usamos um número desigual de repetições para cada tipo de aço, dificultando por conseguinte a análise estatística.

(b) Milho em grão e milho em palha

Os ensaios preliminares de moagem indicaram que 2.000 kg de milho moido era o suficiente para a observação do desgaste dos martelos em cada ensaio (turno). Foram moidos 21.258,5 kg de milho em grão e milho em palha, com

participação variável de cada um. A balança utilizada para a pesagem dos martelos afere 20 mg com precisão e sem necessidade de cuidados técnicos além do necessário.

Usou-se simultâneamente milho em grão e milho em palha nos ensaios de moagem observando-se a necessidade do uso separado dêstes dois elementos, não só em função de fixar-se variáveis, como também dos diferentes teores de matéria graxa e sílica encontrados nos dois produtos.

4.2. ENSAIOS DEFINITIVOS

4.2.1. SELEÇÃO E DUREZA DOS AÇOS

Os órgãos ativos de máquinas agrícolas que sofrem desgaste, estão sujeitos a esforços dinâmicos caracterizados pelo seu funcionamento, onde diversas forças agem com maior ou menor intensidade.

No caso específico de órgãos ativos de moinhos à martelos móveis, a seleção dos aços para a sua construção, foi feita em função das forças de choque e forças de deslizamento que ocorrem sobre o bordo de ataque. As duas características metalográficas que tornam os aços resistentes a estas duas forças, são respectivamente tenacidade e dureza. As outras variáveis que influem no processo do desgaste foram quantificadas ou qualificadas para a execução dos ensaios definitivos.

QUADRO 2. - Dados de tratamento térmico utilizado nos ensaios preliminares.

AÇO (SAE) (Normalizado)	DUREZA		TÊMPERA		DUREZA		REVENIDO		DUREZA	
	30,3 Rc	40	TEMPO(min)	TEMP.(°C)	(Rc)	TEMP.(min)	TEMP.(°C)	TEMP.(min)	TEMP.(°C)	(Rc)
5160	30,3 Rc	40	870	65,4	30	430	49,5			
6150	39,6 Rc	35	820	61,5	60	370	50,6			
S ₁	95,6 Rb	40	940	58,0	30	430	51,9			
D ₂	84,0 Rb	35	1030	59,9	30	430	56,0			

Selecionamos quatro aços, dois aços para molas e dois aços para ferramentas e matrizes.

(a) Aços para molas

Foram selecionados os aços SAE 5160 e aço SAE 6150 pois, apresentando composição química com elementos que favorecem a formação de carbonetos de cromo e vanádio e resistem ao desgaste abrasivo de deslizamento.

(b) Aços para ferramentas e matrizes

Selecionou-se o aço SAE S₁ do grupo III (aços resistentes ao choque), com o fito de aferir se este aço resiste mais do que os outros dois acima citados. Uma vez observado este fato, teremos uma indicação da natureza abrasiva do desgaste dos órgãos ativos de moinhos à martelos. O seu elevado teor de tungstênio e de cromo, aliado à grande tenacidade, proporciona resistência ao choque e ao deslizamento.

O último aço selecionado para os ensaios de desgaste foi aço SAE D₂, pertencente ao grupo II (aços indeformáveis) dos aços para ferramentas e matrizes, que sendo de alto carbono e de alto cromo, é o mais tenaz do grupo, e proporciona condições de formação de carbonetos, que resistindo ao desgaste, aumentam a vida útil dos martelos.

Introduziu-se nos experimentos, o aço SAE 1010 cementado, pois sendo utilizado pelas indústrias de moinhos

à martelos do Estado de São Paulo, houve por bem ser ensaiado, visando-se orientar melhor os fabricantes.

Como a comparação estatística sugere uma igualdade de dureza dos aços que seguem aos ensaios de desgaste, e como é de interêsse investigar se a dureza baixa proporciona o mesmo desgaste dos aços de dureza alta, resolvemos ensaiar os aços do QUADRO 3, com durezas em dois níveis, 45 ± 1 Rc e 55 ± 1 Rc, denominadas pelo autor dureza baixa e dureza alta respectivamente. Os ensaios de desgaste em dois níveis de dureza, prendem-se ao fato dos aços menos duros serem mais tenazes.

QUADRO 3. - Análise química dos aços selecionados, conforme o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.

AÇO (SAE)	TEÓRES PORCENTUAIS DOS ELEMENTOS DE LIGA						
	C	Cr	Mn	Si	V	Mo	W
6150	0,53	0,96	0,83	-	0,11	-	-
5160	0,61	0,81	0,84	0,38	-	-	-
S ₁	0,46	1,07	-	-	-	-	2,05
D ₂	1,54	11,60	-	-	-	0,77	-

4.2.2. USINAGEM DOS MARTELOS

A indústria produtora da matéria prima forne-

ceu os aços em barras normalizadas, e o serviço de usinagem foi feito no Departamento de Metrologia e Instrumentação da Divisão de Mecânica Agrícola do Instituto Agronômico de Campinas, na Escola SENAI de Jaboticabal e nas Indústrias S.A. Stéfani Comercial de Jaboticabal.

As barras foram cortadas em pedaços aproximados do tamanho definitivo, por intermédio de uma serra circular do tipo "cut-off"; aplainados com plaina limadora à um dimensionamento aproximado de 6 mm x 80 mm x 40 mm; furados na parte superior e inferior conforme mostra a FIGURA 5. À largura do órgão ativo, foi dada uma tolerância de $\pm 0,1$ mm.

QUADRO 4. - Dimensionamento do perfil e durezas das barras de aço recebidas do fornecedor.

AÇO (SAE)*	DUREZA	PERFIL (mm)
6150	39,6 Rc	9,53 x 57,15
5160	30,3 Rc	11,11 x 88,90
S ₁	95,6 Rb	19,05 x 88,90
D ₂	84,0 Rb	38,10 x 101,60

* Aços normalizados.

Como acabamento da superfície do martelo, além do serviço de retífica, procedeu-se ao polimento com

uma politriz circular de pano, eliminando possíveis partículas e rebarbas.

4.2.3. TRATAMENTO TÉRMICO

Com o tratamento térmico, deu-se aos aços uma estrutura metalográfica do tipo de martensita revenida, e duas durezas: 45 ± 1 Rc e 55 ± 1 Rc. Como desejava-se uma amplitude de dureza de ± 1 Rc em torno do valor pré-estabelecido, o revenido foi executado de maneira progressiva, onde a temperatura era elevada pouco a pouco, até conseguir-se o nível desejado de dureza. O conjunto de cinco parcelas do aço SAE 6150 destinada à obtenção de dureza 55 ± 1 Rc, trincaram durante a fase de têmpera, sendo eliminados. Introduziu-se um aço que é muito utilizado na indústria de moinhos: é o aço SAE 1010 cementado e que em nossos experimentos teve uma profundidade média de 0,2-0,3 mm de cementação, com uma dureza superficial de 35 Rc.

Os trabalhos de têmpera e de revenido foram realizados no Departamento de Materiais da Escola de Engenharia de São Carlos, e com a colaboração do corpo docente daquela unidade de ensino: Os trabalhos de cementação e têmpera do aço SAE 1010 foram feitos na indústria fornecedora do material.

QUADRO 5. - Dados de tempo, temperatura e dureza dos aços tratados termicamente.

AÇO (SAE)	CEMENTAÇÃO			TÊMPERA			REVENIDO			
	TEMPO (min)	TEMP. (°C)	DUR. (Rc)	TEMPO (min)	TEMP. (°C)	DUR. (Rc)	TEMPO (min)	TEMP. (°C)	DUR. (Rc)	DUR. (Rc)
6150	-	-	-	40	850	-	-	-	45 ± 1	-
5160	-	-	-	35	850	-	-	55 ± 1	45 ± 1	-
S ₁	-	-	-	40	950	-	-	55 ± 1	45 ± 1	-
D ₂	-	-	-	35	1020	-	-	55 ± 1	45 ± 1	-
1010	90	870-920	-	-	870-920	35	-	-	-	-

(1) Aços de dureza alta.

(2) Aços de dureza baixa.

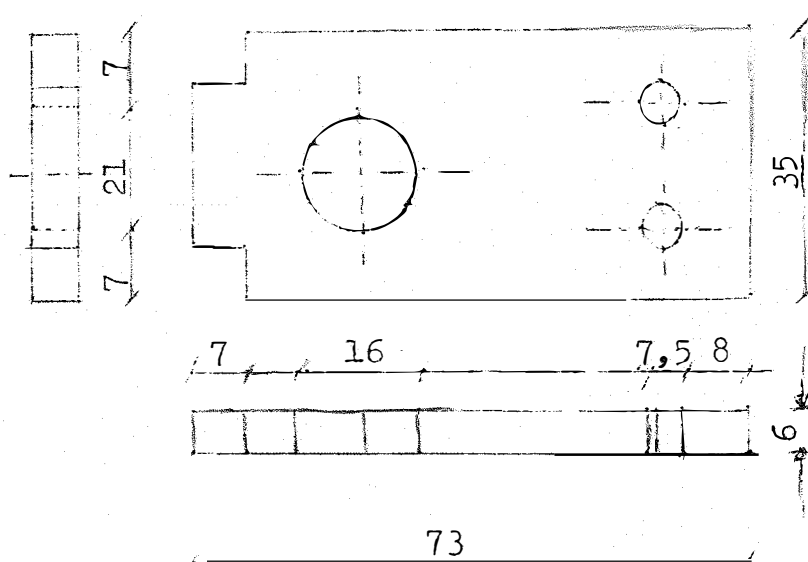


FIGURA 5. - Esquema cotado dos órgãos ativos experimentais de moinhos à martelos.

4.2.4. MICROGRAFIAS

A análise micrográfica dos martelos cementados, temperados e revenidos, foi feita tomando-se duas parcelas de cada aço, cortando-se um pedaço junto ao bordo de ataque, embutindo-se o material para formar o corpo de prova em baquelite, que depois de polido e atacado com nital, seguiu para o serviço de fotografia microscópica e posterior análise metalográfica.

A análise foi feita com a colaboração dos mes

mos colegas e amigos que ajudaram no tratamento térmico utilizando-se um microscópio metalográfico de fabricação da Union Optical Co. Ltd. As fotografias foram tiradas em uma bancada metalográfica universal marca REICHERT, com câmara e microscópio.

Abaixo seguem discriminadas as fotografias e respectivas análises dos aços SAE 6150, SAE 5160, SAE S₁, SAE D₂ e SAE 1010.

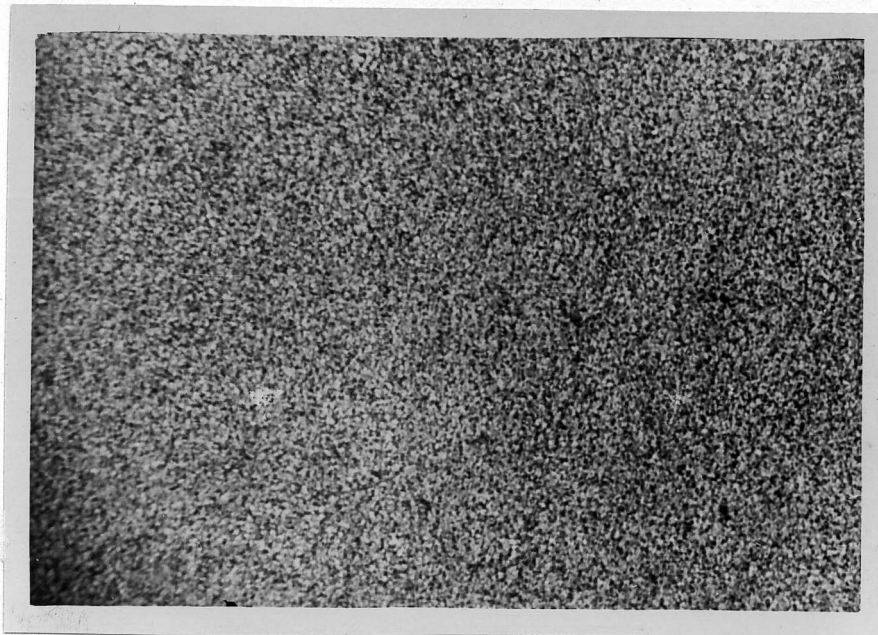
Com a finalidade de comprovar a eficiência do tratamento térmico, foram feitas análises de dureza do núcleo dos aços cortados, observando-se que com exceção do aço SAE 1010, todos os outros apresentavam a mesma dureza tanto no núcleo como na superfície.

A dureza do núcleo do aço SAE 1010 cementado e o pino mostrado, (ver. FOTOGRAFIA 11) apresentam a dureza 84 Rb.

a) Aço SAE 5160, temperado, revenido e com dureza 55 ± 1 Rc.

Houve dissolução completa dos elementos de liga na matriz de martensita revenida. A mesma se apresenta uniforme.

b) Aço SAE S₁ temperado, revenido e com dureza 55 ± 1 Rc.



FOTOGRAFIA 1. - Microestrutura do aço SAE 5160 temperado, revenido e atacado com nital. Aumento de 160 vêzes e dureza 55 ± 1 Rc.

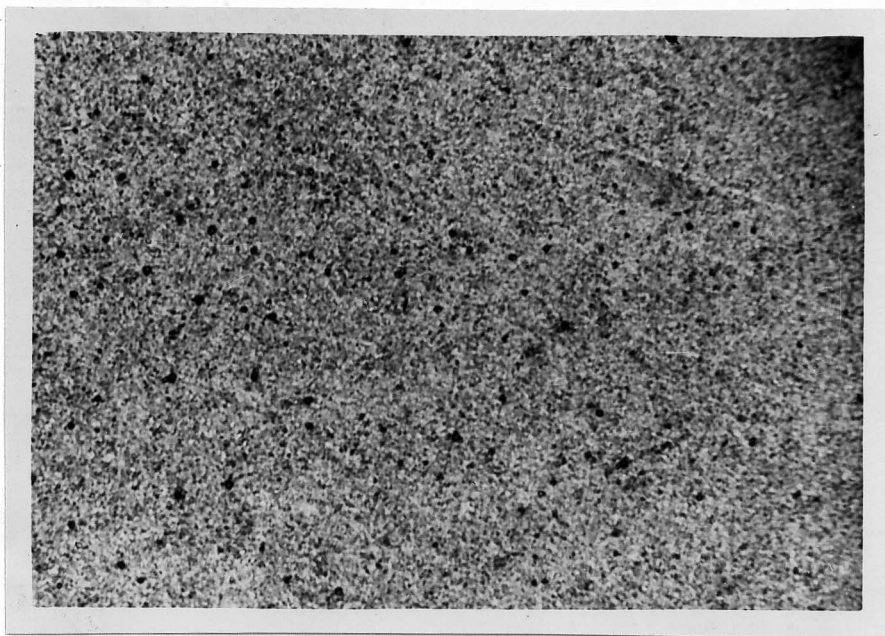
A estrutura **apresenta** dissolução completa dos carbonetos. Estrutura martensítica **revenida**.

c) Aço SAE D₂, temperado, revenido e com dureza 55 ± 1 Rc. Estrutura martensítica revenida, com fraca dissolução dos carbonetos.

d) Aço SAE 5160, temperado, revenido e com dureza 45 ± 1 Rc. Estrutura martensítica revenida, com carbonetos dissolvidos na matriz.

e) Aço SAE 6150, temperado, revenido e com du

reza 45 ± 1 Rc. Estrutura martensítica revenida.



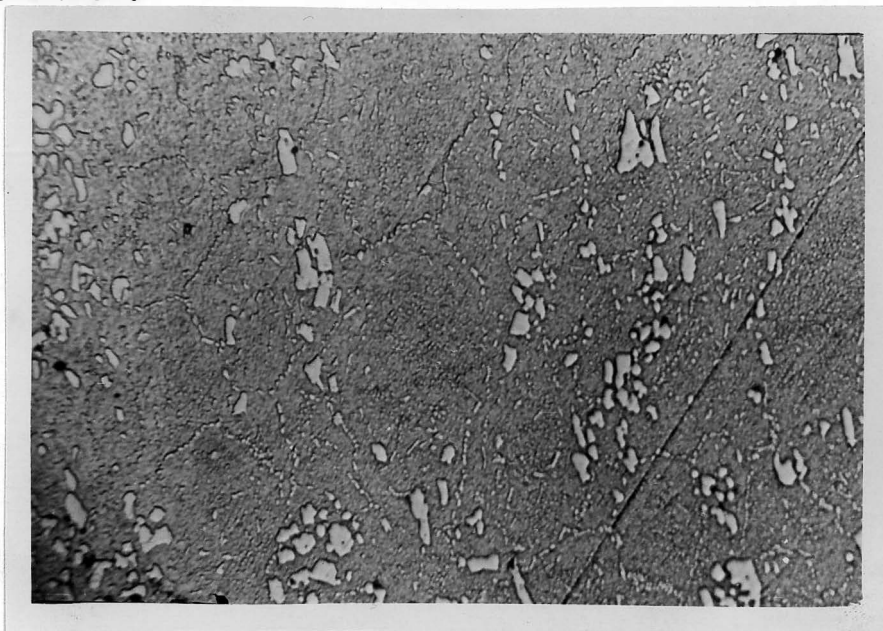
FOTOGRAFIA 2. - Microestrutura do aço SAE S₁ temperado, revenido e atacado com nital. Aumento de 160 vezes e dureza 55 ± 1 Rc.

f) Aço SAE S₁, temperado, revenido e com dureza 45 ± 1 Rc. A estrutura apresenta martensita revenida.

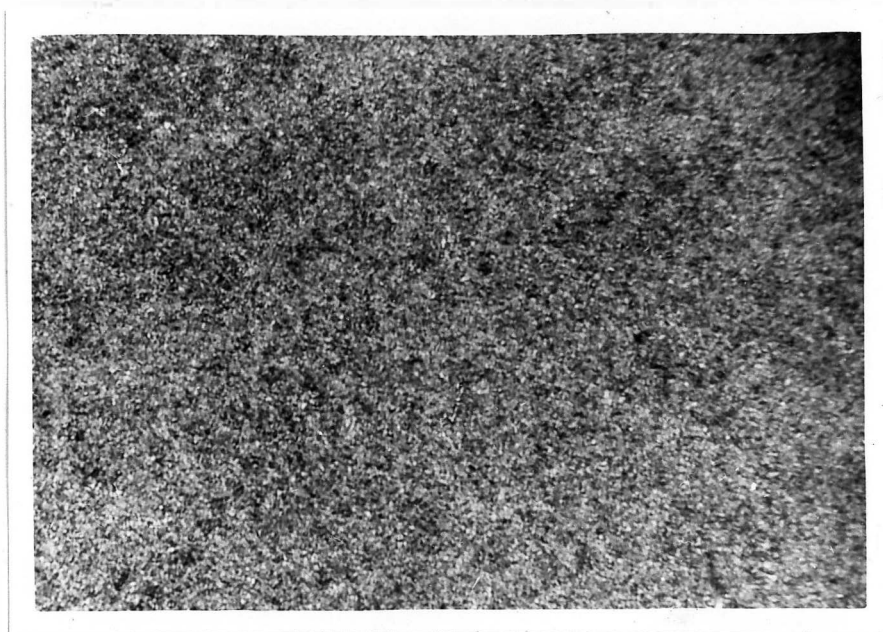
g) Aço SAE D₂ temperado, revenido e com dureza 45 ± 1 Rc. A estrutura apresenta martensita revenida e observação de carbonetos bem visíveis e uniformemente distribuídos na matriz.

h) Aço SAE 1010 cementado e temperado, com dureza de 35 Rc. na superfície. Estrutura martensítica e ferrítica devido ao tratamento térmico imperfeito dentro da zo

na crítica.

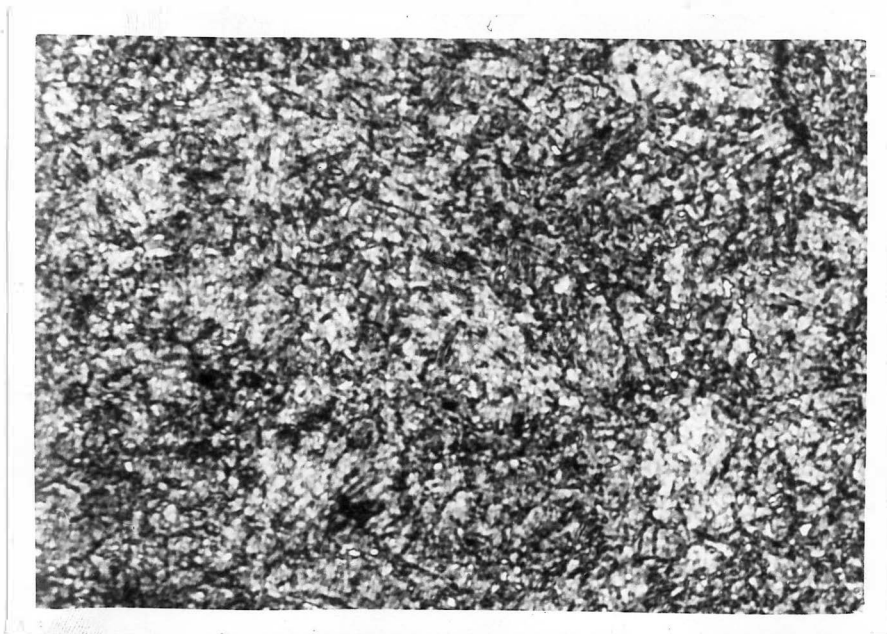


FOTOGRAFIA 3. - Microestrutura do aço SAE D₂ temperado, revenido e atacado com nital. Aumento de 160 vêzes e dureza 55 ± 1 Rc.



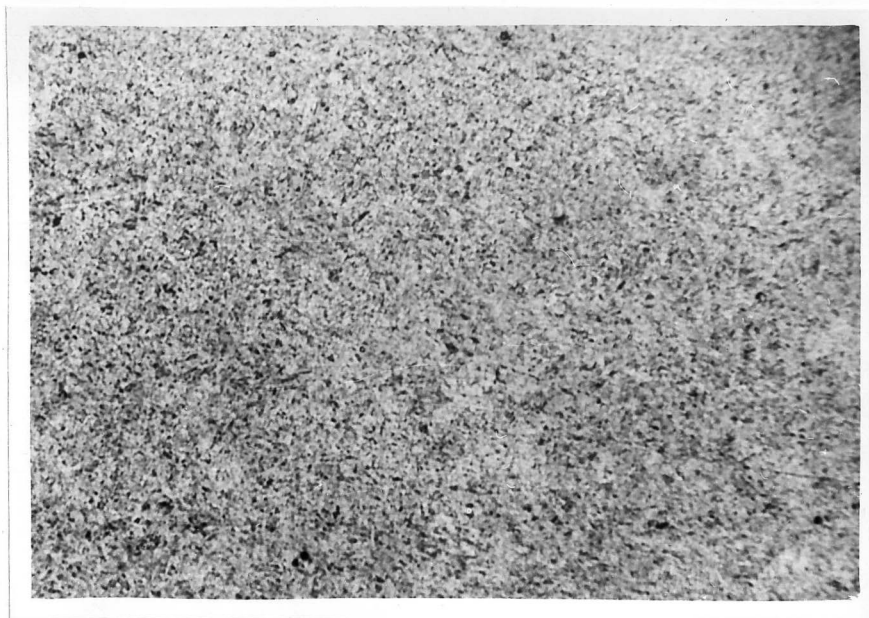
FOTOGRAFIA 4. - Microestrutura do aço SAE 5160, temperado ,

revenido e atacado com nital. Aumento de 160 vezes e dureza 45 ± 1 Rc.

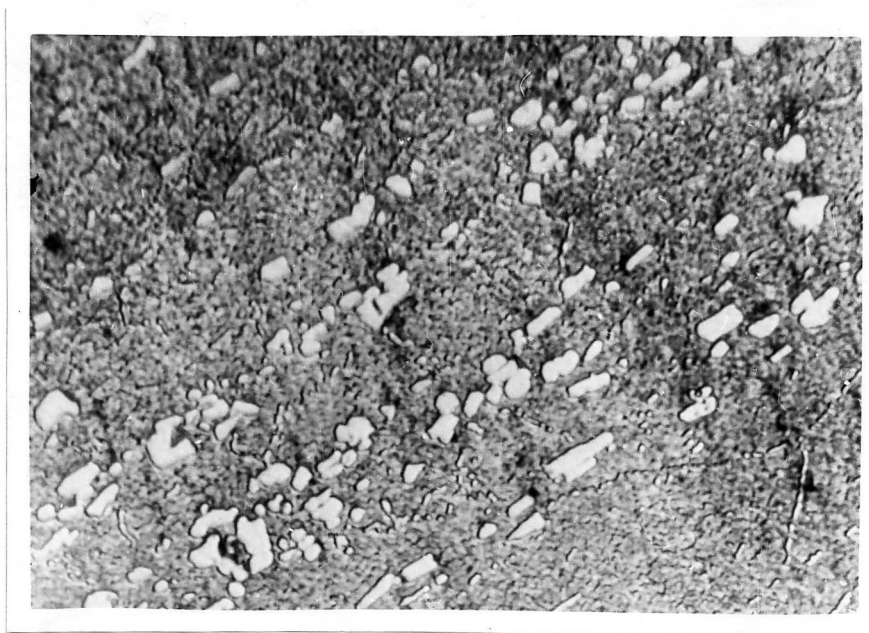


FOTOGRAFIA 5. - Microestrutura do aço SAE 6150, temperado , revenido e atacado com nital. Aumento de 160 vezes e dureza 45 ± 1 Rc.

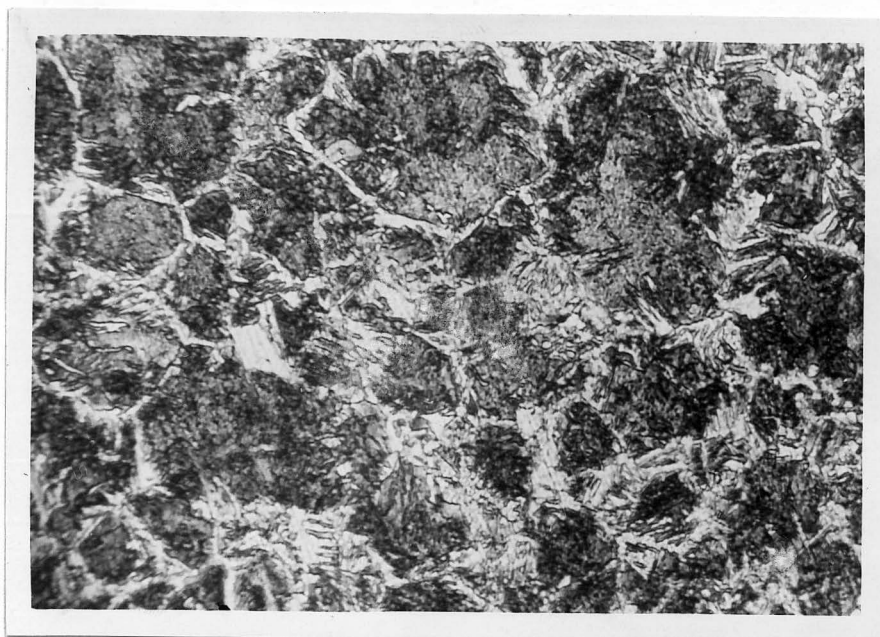
i) Aço SAE 1010 com dureza 84 Rb. No núcleo apresenta estrutura perlítica e ferrítica, onde a cementação penetrou. Material dútil.



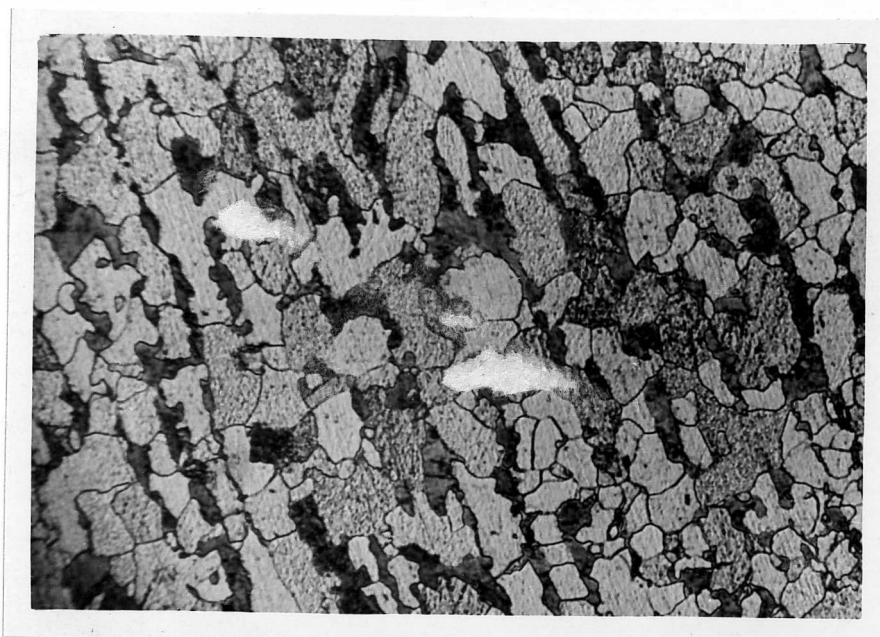
FOTOGRAFIA 6. - Microestrutura do aço SAE S₁ temperado, revenido e com aumento de 160¹ vezes. Ataque com nital e dureza 45 ± 1 Rc.



FOTOGRAFIA 7. - Microestrutura do aço SAE D₂, temperado, revenido e com aumento de 160² vezes. Ataque com nital e dureza 45 ± 1 Rc.



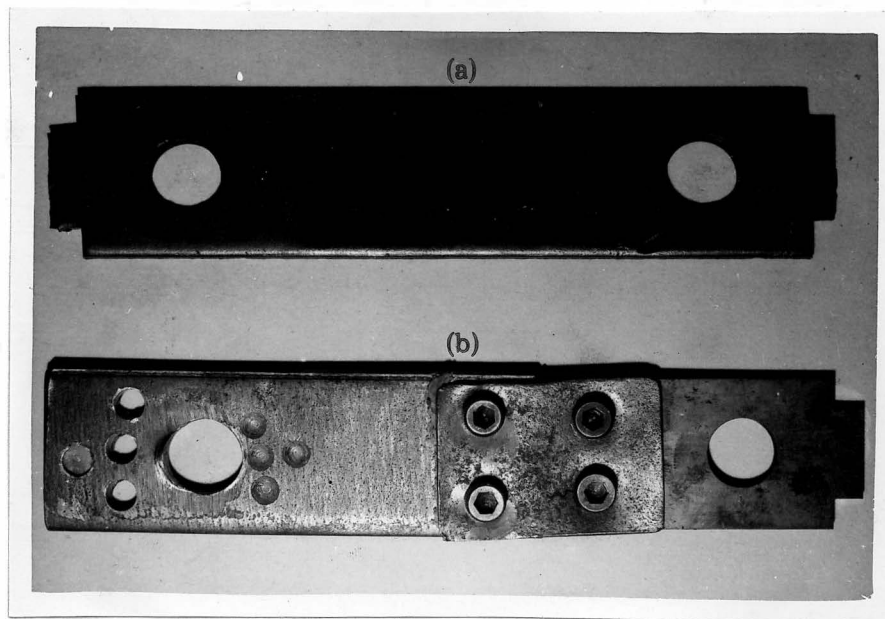
FOTOGRAFIA 8. - Microestrutura do aço SAE 1010 cementado com 35 Rc na superfície e com aumento de 160 vê zes. Ataque com nital.



FOTOGRAFIA 9. - Microestrutura do aço SAE 1010. Estrutura perlítica e ferrítica com aumento de 160 vê zes e dureza 84 Rb.

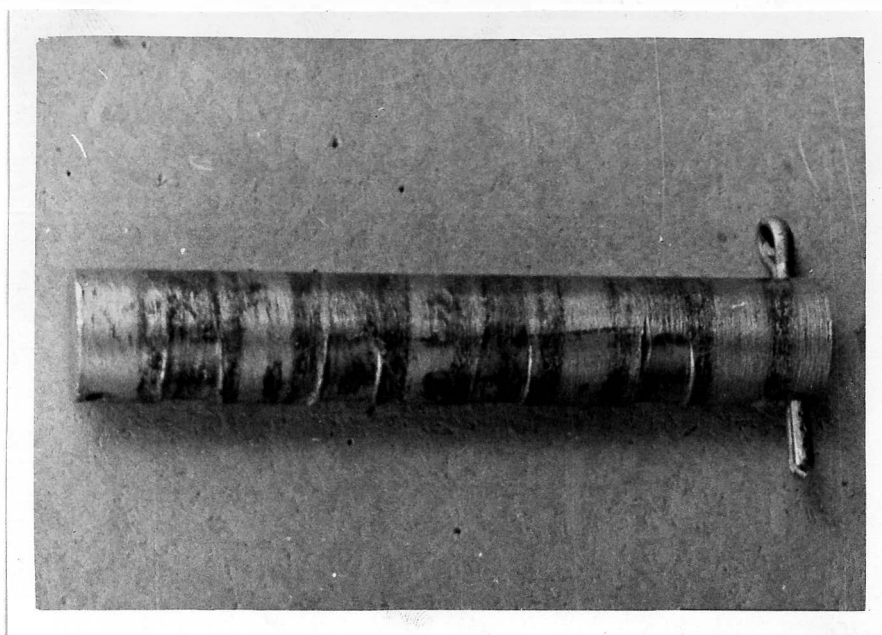
4.2.5. MONTAGEM DOS MARTELOS

A FOTOGRAFIA 10 mostra em (a) um martelo típico de moinhos, e em (b) a montagem realizada para os ensaios de moagem.



FOTOGRAFIA 10. - Martelo industrial típico em (a) e martelo experimental em (b).

O martelo experimental consta de duas partes: o martelo pròpriamente dito, e o suporte. Esta disposição foi adotada por 3 motivos: (a) a balança utilizada nas determinações é incapaz de pesar o martelo por inteiro, (b) o apôio do martelo no pino móvel apresenta um desgaste colateral indesejável e impossível de controlar, (c) os aços deformariam durante os serviços de têmpera se fôsem inteiriços.

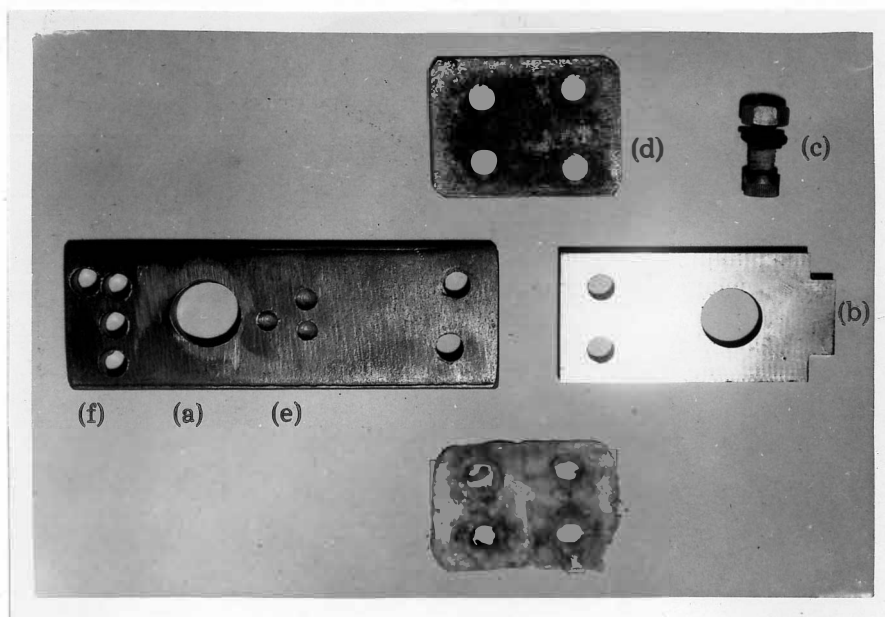


FOTOGRAFIA 11. - Pino móvel mostrando área de desgaste provocado pelo apôio do órgão ativo.

Para a pesagem dos martelos, utilizamos uma balança elétrica marca AISNORTH, modelo 21N, capaz de pesar 160 g. e com sensibilidade para décimo de miligrama. O peso médio dos martelos experimentais, e cujo exemplo é mostrado na FOTOGRAFIA 10, vale 286 g.

Os martelos industriais apresentam desgaste na ponta ativa e também na região do apôio que está em contato com o pino de suporte mostrado na FOTOGRAFIA 11. Este desgaste colateral é indesejável para os ensaios, pois não consegue ser medido independentemente do desgaste ocorrido na ponta dos órgãos ativos gastos. Fez-se então uma união entre o martelo propriamente dito e o suporte, com a

finalidade de eliminar êste fator de desgaste colateral in desejável. Da mesma forma, seríamos obrigados a utilizar uma balança com menor sensibilidade, pois os martelos pesariam mais de 286 g., e observando-se que a capacidade da ba lança utilizada é de 286 g.



FOTOGRAFIA 12. - Montagem dos martelos utilizados nos ensaios, mostrando:

- (a) suporte,
- (b) martelo propriamente dito,
- (c) parafusos de união com luvas de plástico protetor das faces de contato,
- (d) chapa de aço para fixação lateral,
- (e) furação para caracterizar o aço ensaiado,
- (f) furação do balanço dinâmico dos martelos.

O balanceamento dos martelos foi efetuado com a eliminação de material pela furação do suporte na sua base. A variação do peso teve um desvio de 1 g. ao redor de 286 g. Os martelos foram dispostos nas cinco divisões do rotor; dois martelos colocados lado a lado, formando cinco conjuntos duplos e totalizando 10 unidades conforme mostra a FIGURA 6.

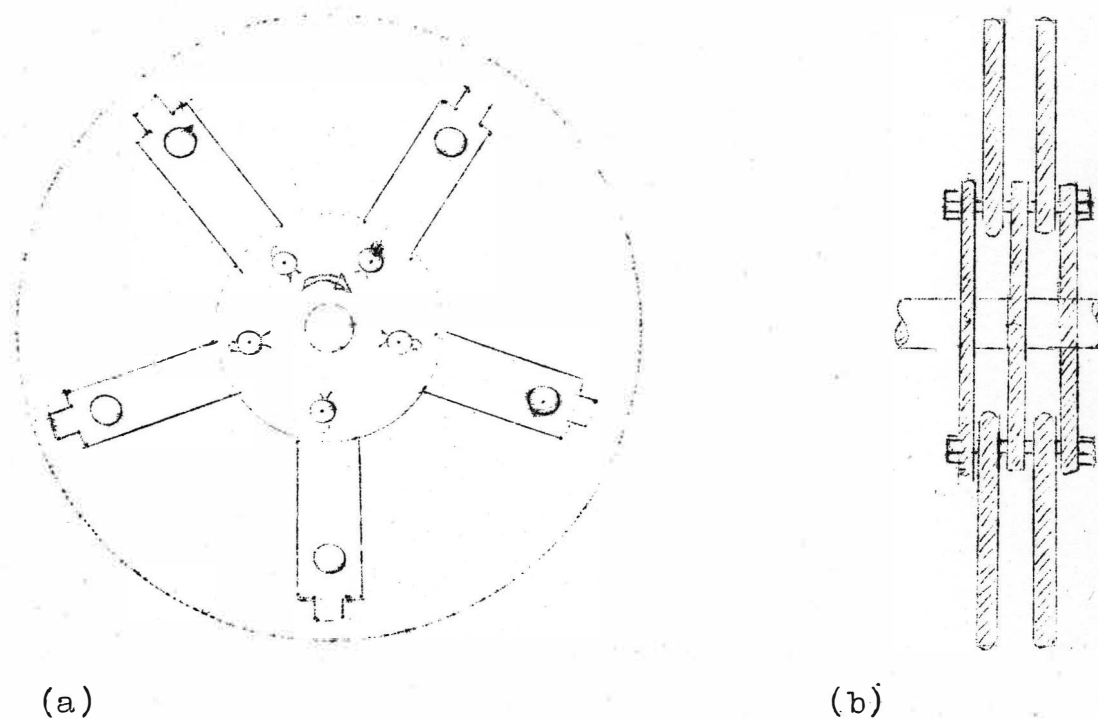
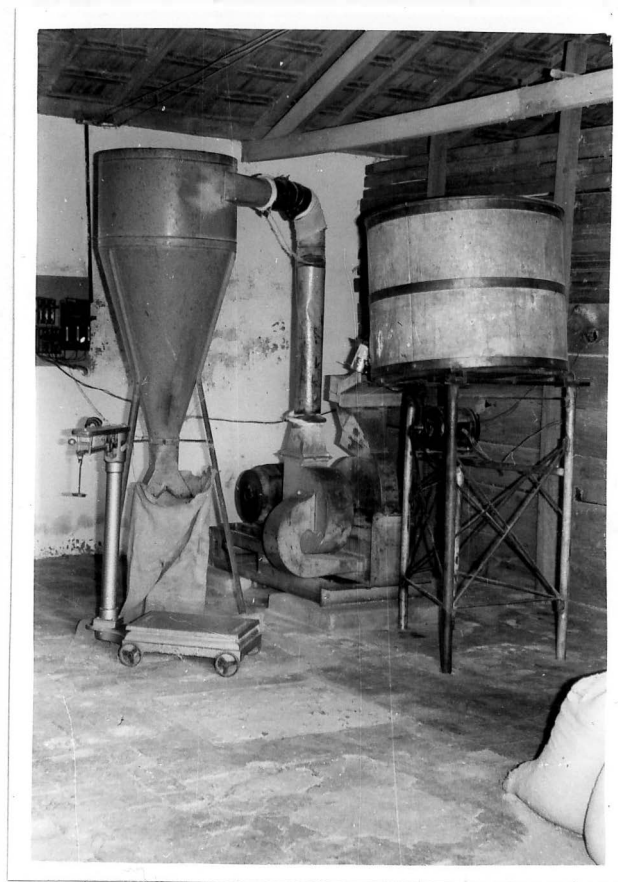


FIGURA 6. - Disposição dos martelos experimentais no rotor do moinho. (a) vista lateral e (b) vista transversal.

4.2.6. MOINHOS À MARTELOS

Os ensaios de moagem de milho em grão e do milho em palha foram realizados em moinho à martelos móveis, marca D'Andrea, modelo nº 2 e instalado no Departamento de Zootecnia da Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia de Jaboticabal. As especificações técnicas seguem adiante, conforme modelo citado pelo National Institute of Agricultural Engineering (Silsoe, England).



FOTOGRAFIA 13. - Conjunto moageiro mostrando moinho, alimentador e ciclone.

O quadro a seguir apresenta uma síntese informativa dos dados do moinho à martelo utilizado nos ensaios de desgaste.

Dados técnicos do moinho, motor e ciclone utilizados nos ensaios experimentais.

a) Moinho e unidade motriz

altura do moinho	122,0	mm
largura total do moinho	101,0	mm
diâmetro da caixa	580	mm
tipo de motor e rotação	elétrico à 1.760	rpm
potência do motor	10	cv

b) Rotor

diâmetro total do rotor com martelos	530	mm
distância do centro ao suporte do martelo	117	mm
rotação em trabalho	46,4	rps
diâmetro do eixo	50,8	mm

c) Martelos

quantidade	10	
comprimento	182	mm
largura	38	mm
espessura	6	mm

velocidade periférica	77,26 m/s
folga entre martelo e peneira	13,0 mm

d) Ventilador

tipo	impulsor centrífugo de pás
diâmetro	480 mm
número de pás	4
velocidade periférica	70,11 m/s

e) Peneira

número	90
diâmetro	28,5 mm
área	19.940 mm ²
número de furos	116

f) Ciclone

altura	2.440 mm
diâmetro superior	720 mm
diâmetro interno	390 mm

g) Unidade ensacadora

altura do solo	680 mm
diâmetro	155 mm

h) Conduto moinho-ciclone

diâmetro	170 mm
----------	--------

4.2.7. ALIMENTADOR VIBRATÓRIO

A revisão da literatura informa que os moinhos à martelos móveis, notadamente os de poucos órgãos ativos, necessitam de um fluxo constante do produto de moagem. A alimentação dos moinhos é feita facilmente quando produto é grão de cereal, bastando para tanto o uso de um depósito contendo um orifício de secção regulável colocado na parte inferior.

Os pesquisadores que trabalham com moinhos alimentados com espigas de milho, procedem à alimentação com o auxílio de um operador treinado para o trabalho, e que, devido à prática de manejo, apresenta um fluxo aproximadamente constante.

Muito embora esta informação seja necessária, foi considerada insuficiente para ser introduzida neste trabalho. Em função da necessidade da alimentação constante nos moinhos à martelos, e como a prática usual de pesquisa é considerada empírica, idealizou-se, projetou-se, construiu-se e utilizou-se neste trabalho, um alimentador vibratório para espigas de milho, conforme mostram as FOTOGRAFIAS de 14 a 18.

O princípio vibratório foi eleito por oferecer vantagens sobre os outros tipos de princípios, como o de transportadores helicoidais, esteiras ou de gravidade.

O conjunto alimentador é composto de cuba de

produto agrícola, armação de sustentação, sistema vibratório e fixação no piso, os quais seguem descritos adiante:

a) Cuba de produto agrícola

O depósito que recebe o milho em palha (espigas com palha), é um recipiente com 1 m de diâmetro, 0,8 m de altura e com 9º de inclinação em relação à horizontal, cuja finalidade é fazer com que a vibração provoque o deslizamento do produto agrícola em direção da bica de saída. Internamente os cantos vivos foram fechados para haver um deslizamento correto em direção à saída. A cuba comporta 180,0 kg de milho em palha.

b) Armação de sustentação

É constituída de quatro pernas de cano galvanizado com 5 cm. de diâmetro duas colocadas anteriormente e duas colocadas posteriormente. A cuba fica apoiada nas duas trazeiras por intermédio de um eixo oscilatório e a dianteira suporta a parte inferior da cuba por intermédio de três molas, conforme mostra a FOTOGRAFIA 16. Isto permitiu a movimentação suave da cuba mesmo completamente carregada. Um mínimo de esforço para cima, efetuado sob a cuba, é capaz de movimentá-la. Este detalhe permitiu o uso de um motor com pequena potência.

c) Sistema vibratório

Este sistema é constituído de um excêntrico colocado sôbre o eixo de um motor elétrico de 3 c.v., tendo uma excentricidade de 0,3 mm e girando a uma rotação de 1640 rpm. Dois rolamentos SKF nº 6250 fixos dentro do pé de uma biela recebem o sistema acima citado, demonstrado na FOTOGRAFIA 17. A rotação do motor elétrico provoca a vibração na biela, a qual é transferida para a cuba circular, que passa a vibrar em todos os pontos, e provocando a vibração das espigas que se deslocam em direção da bica de saída.

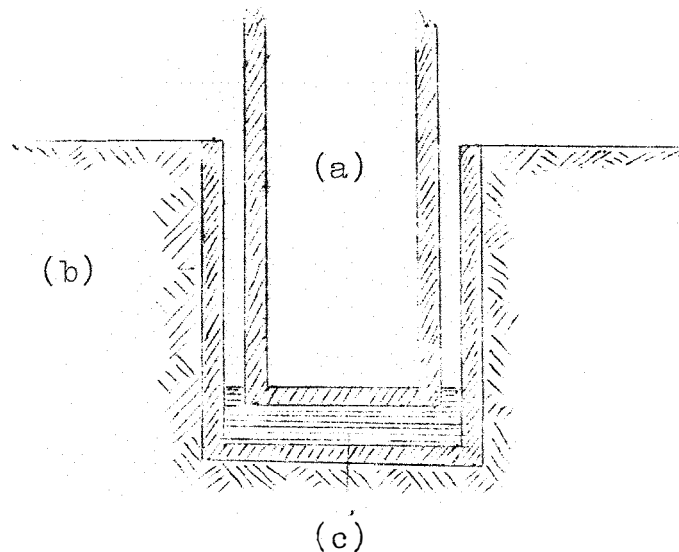
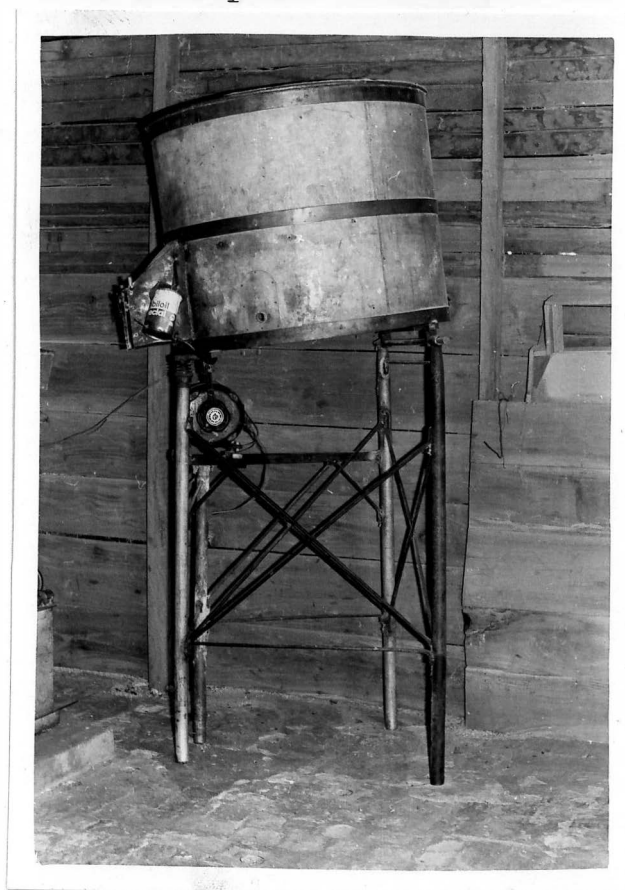


FIGURA 7. - Detalhe da fixação do pé do alimentador vibratório, mostrando pé em (a), luva de cano galvanizado em (b) e apôio de borracha em (c).

d) Fixação no piso

A vibração ocorrida na armação e cuba de depósito transmitia-se ao piso, ocasionando excesso de ruído, e aumento da vibração. Fez-se então a fixação no piso com luvas de cano galvanizado de 60 mm de diâmetro, colocando-se borracha na parte inferior, visando fixar o alimentador no local, eliminar o ruído e o excesso de vibração, conforme mostra a FIGURA 7.

O desempenho do alimentador vibratório mos-



FOTOGRAFIA 14. - Vista lateral do alimentador vibratório, mostrando cuba circular, sistema vibratório e armação.

trou-se eficiente, apresentando um fluxo constante de espigas de milho, cuja vazão é regulada pela maior ou menor abertura da tampa de saída do milho.

Houve problemas de fluxo das espigas, quando dentro do produto agrícola de moagem havia palha sem a espiga. A vibração atuando sobre a palha não a movimentava, fa



FOTOGRAFIA 15. - Vista frontal do alimentador vibratório, mostrando cuba circular, sistema vibratório e armação.

zendo com que a mesma ficasse parada no local e não desli-

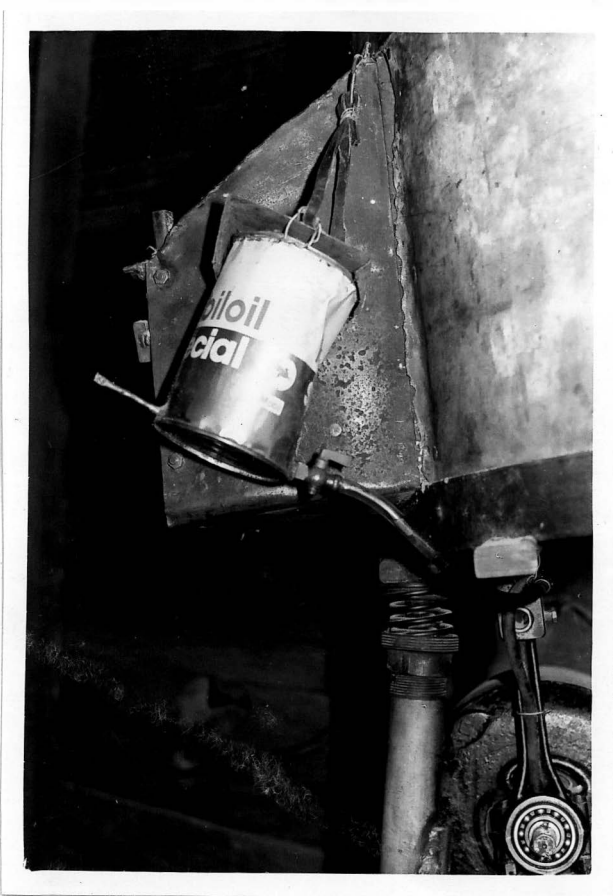


FOTOGRAFIA 16. - Sistema vibratório do alimentador, indicando o motor, biela e amortecedor.



FOTOGRAFIA 17. - Destaque do excêntrico do vibrador, localizado dentro do rolamento de esferas.

zando em direção à bica de saída. Outro problema surgido e, posteriormente solucionado, foi o da temperatura excessiva desenvolvida no rolamento. Com a introdução de um sistema de lubrificação do tipo conta-gotas, o sistema passou a funcionar corretamente.



FOTOGRAFIA 18. - Detalhe do sistema de lubrificação, mostrando lata de óleo, registro e conduito plástico conduzido ao rolamento.

4.2.8. MATERIAL DE MOAGEM

Os fabricantes de moinhos à martelos do Estado de São Paulo informam que dentre outros, o milho em grão (grãos de milho) e o milho em palha (sabugo, grãos e palha), são os dois produtos agrícolas mais utilizados no meio rural para a moagem. Isto deve-se ao fato do milho ser o alimento básico para aves, bovinos e suínos. Conforme MORRISON, F.B. (1966) é o alimento mais nutritivo e a cultura mais amplamente semeada.

O material usado na moagem foi o milho tipo meio duro, variedade H.M.D. 7974, produzido pela Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, e plantado na área da Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia de Jaboticabal, na safra de 1969/70.

4.2.8.1. MILHO EM PALHA

A FOTOGRAFIA 19 é uma amostra do material utilizado notando-se que as espigas de milho não tem uniformidade, muito embora seja um milho híbrido.

O QUADRO 6 indica os valores de propriedades físico-químicas de milho em palha.



FOTOGRAFIA 19. - Amostra de milho em palha, variedade H.M.D. 7974, usado nos ensaios de moagem.

QUADRO 6. - Valôres médios dos dados físico-químicos do milho em palha.

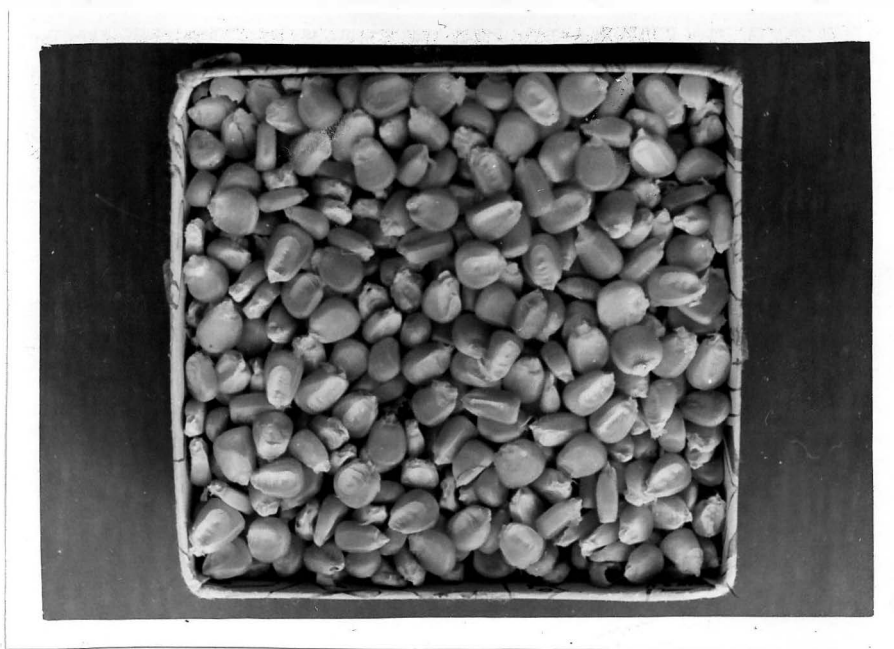
Descrição	Unidade	Milho em palha
Umidade (b u)*	%	10,78
Pêso específico	g/cm ³	0,25
Comprimento	mm	249
Diâmetro maior	mm	42,3
Pêso unitário	g	120,3
Teor de matéria graxa**	%	4,4

* b u - base úmida

** Método de extração contínua com éter de petróleo.

4.2.8.2. MILHO EM GRÃO

A fotografia seguinte é uma amostra do milho em grão usado nos ensaios de moagem.



FOTOGRAFIA 20. - Milho em grão usado nos ensaios de desgaste dos martelos de moinhos de ração.

QUADRO 7. - Valôres médios dos dados físico-químicos do milho em grão.

Descriminação	Unidade	Milho em grão
Umidade (b u)	%	11,11
Pêso específico	g/cm ³	0,74
Comprimento	mm	9,9
Largura	mm	4,2

Pêso unitário	g	0,24
Teor de matéria graxa*	%	4,7

* Método de extração contínua com éter de petróleo.

4.2.9. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

O modelo estatístico usado nos ensaios A, B, C e D de moagem foi o de blocos ao acaso.

Nos ensaios definitivos, e baseados nos ensaios preliminares, eliminou-se uma série de possíveis causas de variação, conforme considerações realizadas no capítulo 4.1. o que permitiu uma redução de 7% no coeficiente de variação dos dados obtidos.

Os tratamentos ensaiados foram os saços SAE 6150, SAE 5160, SAE S₁, SAE D₂, SAE 1010 e o número de repetições foi de quatro vezes.

Como os ensaios procuraram elucidar o desgaste de órgãos ativos de moinhos à martelos em dois níveis de dureza, 45 ± 1 Rc e 55 ± 1 Rc operando tanto no milho em grão como no milho em palha, obtivemos quatro combinações possíveis de dureza e de tipo de material de moagem. Observando a FIGURA 6, (pag. 57) notamos que cada lado do rotor comporta cinco martelos experimentais, e como o rotor tem dois lados, fizemos os ensaios de oito em oito parcelas, ou de dois em dois blocos de cada vez. Assim, um experimento

A, B, C ou D é constituído de dois turnos e de quatro blocos ou repetições, conforme indica o QUADRO 8. A quinta posição no rotor foi ocupada por um contra pêsó. A cada ensaio de oito parcelas experimentais, as quais constituem os dois blocos de um rotor, chamamos turno, para efeito de melhor compreensão do delineamento estatístico.

A avaliação do desgaste dos aços foi feito por diferença de pêsó dos martelos antes e depois da moagem, e os dados são fornecidos em miligramas de aço desgastado por 2.000 kg de milho moido.

Para aferição dos contrastes em cada experimento A, B, C ou D, utilizamos a análise da variância, e para comparar as médias usou-se o teste Tukey ao nível de 1% e 5% de probabilidade. A comparação do desgaste entre A (milho em grão) e B (milho em palha) e entre C (milho em grão) e D (milho em palha), foi feita segundo o modelo de grupo de experimentos.

Em face da perda do tratamento SAE 6150 nos experimentos C e D, introduzimos o aço SAE 1010, o qual juntamente com SAE 5160, SAE S₁ e SAE D₂ formaram os quatro tratamentos ensaiados.

A comparação do desgaste entre dureza baixa e dureza alta, tanto para milho em grão como para milho em palha, exigiu um modelo estatístico de análise conjunta de experimentos em blocos ao acaso com tratamentos comuns, pois a comparação foi feita entre três tratamentos, haja visto o

QUADRO 8. - Delineamento estatístico utilizado nos ensaios de moagem.

DUREZA	PRODUTO	EXPERIMENTO	TURNO	PARCELAS	TRATAMENTO	REPETIÇÃO	PÊSO MOIDO (kg)
45 + 1 R ₀	MILHO	A	1º	4	2	2.000	
	EM		8	4	2	2.000	
	GRÃO	B	2º	4	2	2.000	
	EM		8	4	2	2.000	
	55 + 1 R ₀	MILHO	C	1º	4	2	2.000
		EM		8	4	2	2.000
GRÃO		D	2º	4	2	2.000	
EM			8	4	2	2.000	
		PALHA		1º	4	2	2.000
		EM		8	4	2	2.000

aço SAE 6150 não estar nos experimentos C e D e os aços SAE 1010 não fazer parte dos experimentos A e B.

4.2.10. EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO

A FOTOGRAFIA 13 mostra um conjunto moageiro composto de moinho, motor, ciclone e alimentador vibratório utilizados nos experimentos A, B, C e D.

Com a finalidade de executar uma pesagem correta dos martelos, antes e depois de cada turno, os martelos eram desmontados com cuidado para evitar o contato metálico de seus componentes e seguia para a operação de limpeza. Esta operação constava de: (a) imersão do martelo em um becker de 250 ml contendo éter sulfúrico durante três minutos para dissolução da matéria graxa; (b) limpeza com flanela para remoção de matérias estranhas contida na superfície e orifícios dos martelos; (c) remessa dos martelos à balança com pinça para evitar o contato manual; (d) operação de pesagem na balança elétrica com sensibilidade de décimo de miligrama. Todas as pesagens foram feitas com o mesmo operador, sequência ou balança.

A montagem foi feita conforme mostra a FOTOGRAFIA 10, dando-se uma carga média de apêrto de 2,5 mkgf nos parafusos, e a colocação dos martelos no rotor obedeceu ao delineamento estatístico de blocos ao acaso.

Utilizou-se um funcionário para o carregamen-

to do alimentador que se apresentava sempre cheio, e outro para o ensaque e pesagem do material moido. O autor deteve-se no contrôles dos experimentos, cuidando do alimentador vibratório, pesagem correta dos sacos, término dos turnos e outras operações pertinentes aos trabalhos práticos.

A sequência das operações para a moagem do produto era a seguinte: (a) enchimento do alimentador vibratório; (b) ligação de um exaustor de pó ambiente; (c) abertura do registro de conta-gôtas; (d) funcionamento do moinho à martelos; (e) funcionamento do alimentador vibratório; (f) ensaque e pesagem do produto agrícola moido.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. ENSAIOS PRELIMINARES

Os QUADROS 9, 10 e 11 resumem os dados obtidos durante os ensaios preliminares.

Três êrros básicos que colaboraram para invalidar os ensaios preliminares, foram eliminados nos ensaios definitivos ; uso simultâneo do milho em grão e do milho em palha; uso incorreto da dureza dos aços e delineamento estatístico inadequado.

QUADRO 9. - Pêso de milho moido nos ensaios preliminares (kg)

	1º ensaio	2º ensaio	3º ensaio
Milho em grão	1.792,9	4.886,2	3.324,2
Milho em palha	3.348,1	6.699,6	1.207,5
Total	5.141,0	11.585,8	4.531,7

QUADRO 10. - Desgaste dos aços usados nos ensaios preliminares, em mg de aço desgastado pelo total de milho moido.

AÇO(SAE)	1º ensaio	2º ensaio	3º ensaio
5160	128,5	156,1	101,8
		157,1	110,2
		240,7	
		157,3	
6150	115,2	193,9	104,1
	154,9	189,5	
		233,9	
		224,6	
S ₁	135,4	178,9	129,6
	155,1		106,9
	192,1		195,5
D ₂	62,2	102,2	73,5
	69,0		81,1
	65,6		
	64,7		

QUADRO 11. - Desgaste médio dos aços em mg/ton. de produto moido.

AÇO(SAE)	DESGASTE
5160	17,28
6150	20,86
S ₁	27,33
D ₂	11,94

C.V. = 29,56%

5.2. CORPOS SILICOSOS

Detetaram-se dois tipos de estruturas no milho em grão e no milho em palha: grãos de quartzo e espículas silicosas. A primeira delas são grãos de sílica proveniente do solo, com formato arredondado ou irregular, podendo apresentar-se como cristais brilhantes ou recobertos de uma coloração marrom-avermelhado claro. Formam a grande maioria das estruturas observadas, tanto no milho em grão como no milho em palha. O outro tipo de corpo silicosos são estruturas filamentosas compridas quando inteiriças, ou já quebradas, transparentes ou opacas, de corpo arredondado oval ou em forma de fita. Observamos um bulbo ôco na ponta destas estruturas, semelhantes a chifres de bovinos, assim como incrustações laterais globulares ou piliformes. Este

corpo silicoso e filamentososo foi encontrado tanto no milho em palha como no milho em grão.

QUADRO 12. - Dimensionamento médio dos corpos silicosos encontrados no milho em grão e no milho em palha (dados em μ).

PRODUTO DE	GRÃOS DE QUARTZO			ESPÍCULAS DE QUARTZO	
	Redondos	Irregulares		Largura	Comprimento
MOAGEM	Diâmetro	Menor Diâmetro	Maior Diâmetro		
Milho em Grão	13,60	64,99	96,66	10,55	611,06
Milho em Palha	15,04	70,74	125,29	12,65	276,00

O QUADRO 13 adiante discriminado indica os valores quantitativos encontrados de sílica, tanto para milho em grão como para milho em palha. Os dados são fornecidos em mg / kg de produto moído.

QUADRO 13. - Análise quantitativa dos corpos silicosos encontrados no produto agrícola usado nos ensaios de moagem.

Produto de Moagem	mg de sílica/kg de moído
Milho em grão	30
Milho em palha	593

5.3. ENSAIOS DE MOAGEM

As investigações resultaram na coleta de dados do desgaste em dois níveis de dureza dos aços dos martelos (45 ± 1 Rc e 55 ± 1 Rc), operando com milho em grão e com milho em palha. Os dados fornecidos são miligramas de aço desgastado por 2.000 kg de material moído.

Os resultados são analisados em quatro experimentos: A, B, C e D, complementado com mais quatro interações, formando um conjunto de oito comparações apresentadas e analisadas adiante.

5.3.1. ENSAIO DE MOAGEM COM MARTELOS DE DUREZA BAIXA, UTILIZANDO MILHO EM GRÃO - EXPERIMENTO A.

Nêste ensaio foram experimentados os aços SAE 6150, SAE 5160, SAE S₁ e SAE D₂, com dureza 45 ± 1 Rc, e utilizando milho em grão.

QUADRO 14. - Desgaste dos martelos de dureza baixa operando com milho em grão.

AÇO (SAE)	REP.	PÊSO INICIAL (g)	PÊSO FINAL (g)	DIFERENÇA (mg)	MÉDIA (mg)
6150	1	99,5096	99,4466	63,0	
	2	100,6808	100,5929	87,9	
	3	101,4700	101,4307	39,3	
	4	100,2672	100,1934	73,8	66,0
5160	1	99,6842	99,6233	60,9	
	2	100,9700	100,9183	51,7	
	3	100,0527	99,9973	55,4	
	4	98,7065	98,6558	50,7	54,7
S ₁	1	100,1500	100,0954	54,6	
	2	102,4492	102,4100	39,2	
	3	101,8953	101,8498	45,5	
	4	101,2701	101,2245	45,6	46,2
D ₂	1	99,7524	99,7333	19,1	
	2	99,6421	99,6208	21,3	
	3	99,4089	99,3929	16,0	
	4	99,9744	99,9570	17,4	18,4

QUADRO 15. - Análise da variância dos desgastes dos tratamentos de dureza baixa, operando com milho em grão.

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Blocos	3	305,4	101,8	0,79
Tratam.	3	4.935,4	1.645,1	12,80**
Resíduo	9	1.157,0	128,5	
	15			

C.V. = 22,2%

Pela análise de variância, observou-se um efeito significativo ao nível de 1% entre os desgastes dos aços ensaiados, e a não influência dos blocos no experimento.

As médias dos tratamentos foram as seguintes:

$$\bar{M} 6150 = 66,0 \quad \bar{M} S_1 = 46,2$$

$$\bar{M} 5160 = 54,7 \quad \bar{M} D_2 = 18,4$$

As diferenças mínimas significativas (D.M.S.) no teste Tukey foram as seguintes $\Delta 5\% = 24,97$ e $\Delta 1\% = 33,67$. Este teste revelou que a média do tratamento D_2 difere ao nível de 1% dos tratamentos SAE 6150 e SAE 5160, e diferença ao nível de 5% de probabilidade entre o tratamento S_1 .

5.3.2. ENSAIOS DE MOAGEM COM MARTELOS DE DUREZA BAIXA, UTILIZANDO MILHO EM PALHA - EXPERIMENTO B.

As características dos martelos foram as mesmas dos experimentos A, diferindo apenas no tipo do material moído, neste caso, milho em palha.

Os resultados obtidos seguem adiante no QUADRO 16.

QUADRO 16. - Desgaste dos martelos de dureza baixa, operando com milho em palha.

AÇO (SAE)	REP.	PÊSO INICIAL (g)	PÊSO FINAL (g)	DIFERENÇA (mg)	MÉDIA (mg)
6150	1	99,4478	99,3138	134,0	
	2	100,5947	100,5187	76,0	
	3	101,4330	101,3376	95,4	
	4	100,1965	100,0864	110,1	103,8
5160	1	99,6255	99,5278	97,7	
	2	100,9195	100,8214	98,1	
	3	99,9986	99,9006	98,0	
	4	98,6563	98,5586	97,7	97,9
S ₁	1	100,0978	100,0666	31,2	
	2	102,4131	102,3654	47,7	
	3	101,8534	101,8016	51,8	
	4	101,2281	101,1900	38,1	42,2

(continuação)

	1	99,7369	99,6940	42,9	
D ₂	2	99,6249	99,5920	32,9	
	3	99,3952	99,3548	40,4	
	4	99,9591	99,9314	27,7	35,9

QUADRO 17. - Análise da variância dos desgastes dos tratamentos de dureza baixa, operando com milho em palha.

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Blocos	3	128,4	42,8	0,173
Tratam.	3	15.420,2	5.140,1	20,84**
Resíduo	9	2.219,5	246,6	
	15			

C.V. = 22,43%

A análise da variância mostrou diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade entre os desgastes dos aços ensaiados durante o processo da moagem, e a ausência de influência dos blocos neste ensaio.

Note-se que o valor de F é maior neste experimento do que no anterior.

As médias dos desgastes foram as seguintes:

$$\bar{M} 6150 = 103,8 \quad \bar{M} S_1 = 42,2$$

$$\bar{M} 5160 = 97,9 \quad \bar{M} D_2 = 35,9$$

No teste Tukey as diferenças mínimas significativas dos desgastes observados foram 34,69 para Δ 5% e 47,78 para Δ 1%. Este teste revelou que o aço SAE D₂ difere significativamente ao nível de 1% de probabilidade dos aços SAE 6150 e SAE 5160, os quais não diferem ao nível de 1% dos aços SAE 6150 e SAE 5160.

5.3.3. ENSAIO DE MOAGEM COM MARTELOS DE DUREZA ALTA, UTILIZANDO MILHO EM GRÃO - EXPERIMENTO C.

Neste experimento, perdeu-se um tratamento (aço SAE 6150), e foi introduzido no seu lugar, um aço que é utilizado por indústrias produtoras de moinhos à martelos. Tal aço é o SAE 1010 cementado e temperado. Assim, os aços ensaiados foram os seguintes: SAE 5160, SAE S₁, SAE D₂ e SAE 1010, todos com dureza 55 \pm 1 Rc exceto o representativo das indústrias, o SAE 1010, com dureza 35 Rc.

QUADRO 18. - Desgaste dos martelos de dureza alta operando com milho em grão.

AÇO (SAE)	REP.	PÊSO INICIAL (g)	PÊSO FINAL (g)	DIFERENÇA (mg)	MÉDIA (mg)
1010	1	101,5465	101,4865	60,0	
	2	101,0112	100,9584	52,8	
	3	101,0443	101,0112	33,1	
	4	101,5824	101,5465	35,9	45,4
5160	1	98,2512	98,1961	55,1	
	2	99,3878	99,3305	57,3	
	3	98,6972	98,9198	47,4	
	4	99,8069	99,7593	47,6	51,8
S ₁	1	101,6244	101,5685	55,9	
	2	101,1417	101,0884	53,3	
	3	94,5832	94,5543	28,9	
	4	101,6461	101,6019	44,2	45,6
D ₂	1	99,0487	99,0188	29,9	
	2	94,5603	94,5003	60,0	
	3	101,6600	101,6073	52,7	
	4	98,5754	98,5404	35,0	44,4

QUADRO 19. - Análise da variância dos desgastes dos tratamentos de dureza alta, operando com milho em grão.

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Blocos	3	514,6	171,5	0,889
Tratam.	3	47,2	15,7	0,081
Resíduo	9	1.735,0	192,7	
	15			

C.V. = 22,15%

A análise da variância indica que os tratamentos não diferem entre si. Entretanto note-se que o valor de F ao nível de 5% de probabilidade é bem próximo do encontrado, ou seja, 0,069. Como nos casos anteriores, os blocos não apresentam efeito de participação.

As médias dos tratamentos são dadas adiante.

$$\bar{M} 1010 = 45,4 \quad \bar{M} S_1 = 45,6$$

$$\bar{M} 5160 = 51,8 \quad \bar{M} D_2 = 44,4$$

Através do teste Tukey, observou-se que nenhuma das médias diferem entre si, havendo portanto um comportamento igual de desgaste dos aços, operando com milho em grão. Os valores dados pelo teste de Tukey foram valores

mínimos de 30,72 para Δ 5%.

5.3.4. ENSAIOS DE MOAGEM COM MARTELOS DE DUREZA ALTA, UTILIZANDO MILHO EM PALHA - EXPERIMENTO D.

Nêste experimento utilizou-se o mesmo material dos tratamentos do caso anterior, observando-se a falta do tratamento SAE 6150, e a presença do SAE 1010 com dureza 35 Rc.

QUADRO 20. - Desgaste dos martelos de dureza alta, operando com milho em palha.

AÇO (SAE)	REP.	PÊSO INICIAL (g)	PÊSO FINAL (g)	DIFERENÇA (mg)	MÉDIA (mg)
1010	1	103,6156	103,5291	86,5	
	2	101,1568	101,1116	45,2	
	3	103,6868	103,5978	89,0	
	4	101,3679		77,8*	74,6
5160	1	98,1961	98,1479	48,2	
	2	99,9336	99,8887	44,9	
	3	99,3305	99,2862	44,3	
	4	98,9198	98,8711	48,7	46,5

* Parcela perdida estimada.

(continuação)

AO (SAE)	REP.	PÊSO INICIAL (g)	PÊSO FINAL (g)	DIFERENÇA (mg)	MÉDIA (mg)
S ₁	1	101,5685	101,5229	45,6	
	2	101,0884	101,0539	34,5	
	3	94,5543	94,5157	38,6	
	4	101,6019	101,5500	51,0	42,6
D ₂	1	99,0188	98,9862	32,6	
	2	94,5003	94,4655	34,8	
	3	101,6073	101,5704	36,9	
	4	98,5404	98,5081	32,3	34,1

A quarta repetição do tratamento SAE 1010 foi perdida, pois apresentou um desgaste anormal de 211,1 mg. Isto foi devido à entrada de um corpo estranho no moinho, tendo amassado o martelo, expondo zona não cementada e ocasionando desgaste excessivo na zona dútil. Esta parcela foi estimada estatisticamente e introduzida na análise.

A equação para determinar o valor da parcela perdida neste experimento é a (16), e que é citada em PIMENTEL GOMES, F. (1970).

$$y = \frac{r \cdot B + n \cdot T - G}{(r - 1)(n - 1)} \quad (16)$$

onde: y = estimativa da parcela perdida
 r = número de repetições
 B = somatória do bloco da parcela perdida
 n = número de tratamentos
 T = total dos tratamentos da parcela perdida
 G = total das parcelas do experimento

QUADRO 21. - Análise da variância dos desgastes dos tratamentos de dureza alta, operando com milho em palha.

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Blocos	3	497,4	165,8	0,928
Tratam.	3	2.849,0	949,6	5,31*
Resíduo	8	1.429,6	178,7	
	14			

C.V. = 26,7%

Como a análise está sendo feita com uma parcela estimada, é necessário uma correção no Quadrado Médio do Resíduo para uma real estimativa. Esta correção é feita pela diminuição de um valor U da Soma dos Quadrados, conforme mostra a equação (17) indicada por PIMENTEL GOMES, F. (1970).

$$U = \frac{(n - 1)}{n} \left(y - \frac{B}{n - 1} \right)^2 \quad (17)$$

Trabalhando a equação (17) encontramos $U = 841,6$ e a S.Q. original igual a 3.690,6, de tal forma que S.Q. ajustada passa a valer 2.849,0, conforme mostra a análise da variância do QUADRO 21.

A análise da variância indica que os tratamentos diferem entre si, visto que o valor de F ao nível de 5% de probabilidade equivale a 4,07. De outro lado nota-se que os blocos não apresentam efeito.

Os tratamentos indicaram as seguintes médias:

$$\begin{array}{ll} \bar{M} 1010 = 74,6 & \bar{M} S_1 = 42,6 \\ \bar{M} 5160 = 46,5 & \bar{M} D_2 = 34,1 \end{array}$$

Os valores mínimos significativos dados pelo teste Tukey, tanto ao nível de 1% como ao de 5% apresentam valor duplo para comparação. Os valores diferem quando comparamos a média do tratamento cuja parcela perdeu-se. Quando comparamos o tratamento SAE 1010 com os demais, Δ 5% indica uma D.M.S. de 23,25, e Δ 1% indica um valor de 31,89. Para comparação das médias dos tratamentos SAE 5160, SAE S_1 e SAE D_2 entre si, o valor de Δ 5% é de 29,90.

Observa-se que o desgaste do aço SAE 1010 difere ao nível de 1% dos aços SAE D_2 e SAE S_1 e ao nível de

5% do aço SAE 5160.

Os desgastes dos aços SAE 5160, SAE S₁ e SAE D₂ não diferem entre si.

5.3.5. EFEITO DO DESGASTE EM MARTELOS DE DUREZA BAIXA, PROVOCADO PELO MILHO EM GRÃO E PELO MILHO EM PALHA.

Nêste estudo compara-se o desgaste dos martelos dos tratamentos SAE 6150, SAE 5160, SAE S₁ e SAE D₂, com dureza 45 ± 1 Rc quando moendo milho em grão e milho em palha. Os dados a seguir são fornecidos pelos experimentos A e B, os quais são somas de tratamentos.

QUADRO 22. - Dados da soma de cada tratamento dos experimentos A e B, para comparação do desgaste entre milho em grão e milho em palha.

AÇO(SAE)	MILHO EM GRÃO(1)	MILHO EM PALHA(1)	TOTAIS
6150	264,0	415,5	679,5
5160	218,7	391,8	610,2
S ₁	184,9	168,8	353,7
D ₂	73,8	143,9	217,7
TOTAL	741,4	1.119,7	1.861,1

(continuação)

Q.M.	128,5	246,6
------	-------	-------

(1) somatória dos tratamentos dos experimentos A e B.

(1) dados em miligramas.

A análise estatística pode ser efetuada porque a razão entre os quadrados médios não supera 3.

QUADRO 23. - Análise da variância comparativa entre desgastes observados com aços de dureza 45 ± 1 Rc para moagem de milho em grão e milho em palha.

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Experimento	1	4.472,2	4.472,2	4,83*
Tratamento	3	17.579,7	5.859,9	6,33**
E X T	3	2.775,9	925,3	4,93*
Resíduo médio	18		187,5	

A análise da variância indica que os experimentos diferem entre si ao nível de 5% mostrando que o desgaste provocado pelo milho em palha é maior do que o desgaste provocado pelo milho em grão.

Outrossim, nota-se que os desgastes dos tra-

tamentos diferem entre si ao nível de 1%, confirmando as análises da variância dos experimentos A e B.

5.3.6. EFEITO DO DESGASTE PROVOCADO PELO MILHO EM GRÃO E PELO MILHO EM PALHA, CONSIDERANDO-SE AÇOS DE DUREZA ALTA.

A presente análise é semelhante à anterior, diferindo apenas na dureza dos aços dos martelos, as quais apresentam 55 ± 1 Rc. Note-se que o tratamento SAE 1010 apresenta dureza 35 Rc. Os dados obtidos seguem adiante.

QUADRO 24. - Dados da soma de cada tratamento dos experimentos C e D, para comparação de desgaste entre milho grão e milho em palha.

AÇO(SAE)	MILHO EM GRÃO(1)	MILHO EM PALHA(1)	TOTAIS
1010	181,8	298,5	480,3
5160	207,4	186,1	393,5
S ₁	182,3	170,6	352,9
D ₂	177,6	136,6	314,2
TOTAL	749,1	791,8	1.540,9
Q.M.	192,7	178,6	

(1) somatória dos tratamentos dos experimentos C e D.

(1) dados em miligramas.

A análise de comparação de experimentos pode ser efetuada, pois a razão dos seus quadrados médios não supera 3.

Os dados seguintes indicam que o desgaste provocado pelo milho em grão não difere do desgaste provocado pelo milho em palha, considerando-se aços de dureza alta.

QUADRO 25. - A análise da variância comparativa entre os desgastes observados com aços de dureza $55 \pm 1 Rc$ para moagem de milho em grão e milho em palha.

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Experimento	1	61,8	61,8	0,101
Tratamento	3	1,903,7	643,5	1,038
E X T	3	1.934,1	611,3	3,293*
Resíduo médio	18		185,6	

Sem dúvida, este é um fato importante, pois para uma dureza $55 \pm 1 Rc$, o milho em grão e o milho em palha desgastam os aços da mesma forma.

A interação de experimentos com tratamento indicará uma diferença significativa ao nível de 5%, mostrando que os tratamentos do experimento C diferem dos tratamentos do experimento D.

Os resultados obtidos seguem reunidos em um quadro geral adiante, onde são assinalados os aços mais resistentes nos experimentos A, B, C e D.

QUADRO 26. -- Quadro conjunto dos experimentos A, B, C e D, mostrando os aços mais resistentes ao desgaste assinalados com um X.

AÇO (SAE)	G R Ã O		P A L H A	
	45 \pm 1 Rc	55 \pm 1 Rc	45 \pm 1 Rc	55 \pm 1 Rc
6150		-----		-----
5160		X		X
S ₁		X	X	X
D ₂	X	X	X	X
1010*	-----	X	-----	

* Dureza de 35 Rc.

5.3.7. EFEITO DO DESGASTE ENTRE DUREZAS ALTA E BAIXA, NA MOAGEM DE MILHO EM GRÃO.

Adotou-se a análise conjunta de experimentos em blocos ao acaso com tratamentos comuns, para a aferição de contrastes entre os desgastes dos aços dos martelos entre durezas alta e baixa, na moagem de milho em grão.

Nesta análise são feitas comparações entre os

experimentos A e C.

QUADRO 27. - Dados de desgaste dos aços dos martelos experimentais de dureza alta e baixa, na moagem de milho em grão.

1º Experimento (A)

AÇO	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Total
6150	63,0	87,9	39,3	73,8	264,0
5160	60,9	51,7	55,4	50,7	218,7
S ₁	54,6	39,2	45,5	45,6	184,9
D ₂	19,1	21,3	16,0	17,4	73,8
Total	197,6	200,1	156,2	187,5	741,4

2º Experimento (C)

AÇO	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Total
1010	60,0	52,8	33,1	35,9	181,8
5160	55,1	57,3	47,4	47,6	207,4
S ₁	55,9	53,3	28,9	44,2	182,3
D ₂	29,9	60,0	52,7	35,0	177,6
Total	200,9	223,4	162,1	162,7	749,1

QUADRO 28. - Análise da variância para comparação entre o Experimento (A) e o Experimento (C).

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Experimentos	1	20,19	20,19	
Blocos dentro de Experimentos	6	820,00	136,60	
T C X E	2	1.036,32	518,16	
Tratamentos (ajust.)	4	5.413,29	853,32	5,311**
Resíduo	18	2.892,00	160,66	
Total	31	8.181,80		

A análise da variância antes descrita, indica que o Experimento A, correspondente aos aços com dureza 45 ± 1 Rc são mais resistentes ao desgaste provocado pelo milho em grão do que os aços com dureza 55 ± 1 Rc, ou de outra maneira, os aços mais moles são mais resistentes do que os aços duros, mostrando uma confirmação da teoria que afirma que os aços mais moles são mais tenazes, quando a dureza é menor.

5.3.8. EFEITO DO DESGASTE PROVOCADO PELO MILHO EM PALHA ENTRE MARTELOS DE DUREZAS ALTA E BAIXA.

Tal como no caso anterior, adotou-se um delineamento estatístico de análise conjunta de experimentos em blocos ao acaso com tratamentos comuns, para a aferição do

contraste entre os desgastes dos aços utilizados nos ensaios experimentais. A diferença da análise anterior está em que a presente afere o contraste de desgaste provocado pelo milho em palha, em lugar do milho em grão.

Os experimentos comparados são o Experimento B e o Experimento D, cujos dados seguem adiante discriminados em 1º Experimento e 2º Experimento respectivamente.

QUADRO 29. - Dados de desgaste dos aços dos martelos experimentais de dureza alta e baixa, na moagem de milho em palha.

1º Experimento (B)

AÇO	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Total
6150	134,0	76,0	95,4	110,1	415,5
5160	97,7	98,1	98,0	97,7	391,5
S ₁	31,2	47,7	51,8	38,1	168,8
D ₂	42,9	32,9	40,4	27,7	143,9
Total	305,8	254,7	285,6	273,6	1.119,7

2º Experimento (D)

AÇO	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Total
1010	86,5	45,2	89,0	77,8	298,5
5160	48,2	44,9	44,3	48,7	186,1
S ₁	45,6	34,5	38,6	51,9	170,6
D ₂	32,6	34,8	36,9	32,3	136,6
Total	212,9	159,4	208,8	210,7	791,8

A seguir é dada a análise da variância dos Experimentos 1º e 2º.

QUADRO 30. - Análise da variância dos dados de desgaste entre durezas alta e baixa, para martelos desgastados pelo milho em palha.

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Experimentos	1	3.297,5	3.297,5	
Bloco dentro de Experimentos	6	625,8	104,3	
T C X E	2	3.427,5	1.173,7	
Tratamentos(ajust.)	4	15.101,5	3.775,3	17,6**
Resíduo	17	3.649,1	214,6	
Total	30	26.101,1		

Observando a análise estatística, somos informados de que os martelos de dureza baixa são muito mais desgastados do que os martelos de dureza alta, quando o trabalho é realizado com milho em palha. Assim era esperado, pois a teoria assim indicava o esperado. Referindo-se a resistência ao desgaste, podemos afirmar que os martelos mais duros resistem mais do que os martelos construídos com aços mais moles.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A discussão dos resultados é feita em três capítulos, visando melhor entendimento dos assuntos expostos. Serão discutidos os efeitos do desgaste dos aços dentro de cada experimento, efeito do desgaste abrasivo ocorrido sobre os órgãos ativos de moinhos à martelos, e natureza do desgaste.

6.1. DISCUSSÃO DOS EXPERIMENTOS

De uma forma geral, e estando presente como o aço mais resistente ao desgaste, tanto sozinho como igualado a outros nos experimentos A, B, C e D, o aço SAE D₂ revelou-se o melhor.

Um fato interessante e comprobatório da igualdade de condições de realização dos ensaios, foram os valores dos coeficientes de variação dos experimentos A, B, C e

D, conforme mostra o QUADRO 31 apresentado adiante.

QUADRO 31. - Coeficiente de variação em Médias gerais dos ensaios.

EXPERIMENTO	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)	MÉDIA GERAL (mg / 2 ton. de moido)
A	22,20	46,3
B	22,43	69,9
C	22,15	46,8
D	26,70	49,4

Muito embora esta igualdade de coeficiente de variação traga merecimentos aos ensaios de moagem, observamos que os valores de 22,15% a 26,70% são altos. Assim, a comparação das médias dos desgastes dos aços dentro de cada experimento exige uma diferença mínima significativa (D.M.S.) tão alta que compromete o contraste e traz em consequência, tendência ao empate de resistência ao desgaste.

O aço SAE D₂ revelou-se como o melhor no experimento A. Neste caso em que utilizou-se martelos de dureza baixa e milho em grão para a moagem, nota-se que o melhor aço é aquele que apresenta maior teor de elemento de liga e maior porcentagem de carbono. Os outros aços apresentam teor de carbono três vezes menor e elemento de liga seis vezes menor do que o aço SAE D₂. Isto indica que a

formação de carbonetos para resistir ao desgaste é verdadeira. SILVEIRA, G.M. et alii (1970) admitem que os aços mais resistentes ao desgaste sejam os aços ferramenta, dos quais os aços SAE D₂ é um deles. O resultado encontrado confirma o parecer de CHIAVERINI, V. (1965) e de RAUTER, R. O. (sem data) ao afirmarem que o aço SAE D₂ apresenta excepcional resistência ao desgaste pela intensa formação de carbonetos de cromo. De todos os experimentos, o único em que um aço aparece sozinho como o melhor, é no experimento A. Deduz-se daí que a condição mais crítica para os aços SAE 5160, SAE 6150 e SAE S₁ seja provocada pelo milho em grão nos martelos de dureza baixa. Da mesma forma, a menor média geral recaiu sobre este experimento, indicando uma opção a seguir. Ou o milho em grão provoca menos desgaste, ou os aços moles são mais resistentes.

O experimento B mostra a interação de milho em palha com aços de dureza baixa, no qual encontramos a supremacia dos aços SAE D₂ e SAE S₁ sobre os aços SAE 5160 e SAE 6150. Os dois primeiros aços são ferramenta e os dois últimos são aços para molas. Aquêles apresentam teores de elemento de liga muito maior (11,6 Cr e 2,05 W) do que estes (0,96 Cr e 0,81 Cr). Desta forma existe uma tendência maior à formação de carbonetos que sendo extremamente duros resistem mais ao desgaste, confirmando a teoria exposta no capítulo 3.

O experimento C trata do desgaste dos aços

com dureza 55 ± 1 Rc, operando com milho em grão. Nêles encontramos uma igualdade de desgaste entre os tratamentos SAE D₂, SAE S₁, SAE 5160 e SAE 1010, apresentando médias bem próximas uma das outras.

A interação de aços de dureza alta sendo desgastados pelo milho em palha - Experimento D - mostram uma tendência ao empate das médias. Nêles notamos uma superioridade dos aços SAE D₂, SAE S₁ e SAE 5160 contra o aço SAE 1010, que não apresenta elemento de liga, como os demais. A ausência de elemento de liga, mesmo com elevado teor de carbono, não é capaz de resistir ao desgaste, pois não existem carbonetos resistentes ao desgaste; tão somente martensita revenida.

6.2. EFEITO DO PRODUTO AGRÍCOLA DE MOAGEM

Nesta fase da discussão, faz-se uma apreciação da influência do milho em grão e do milho em palha no desgaste dos aços selecionados para a construção dos martelos, observando-se qual dos produtos agrícolas está contribuindo com maior cota de desgaste, e procurando-se analisar as causas mais prováveis.

A teoria do desgaste provocado pelo choque, explanada na revisão da literatura e estimada nos capítulos 3.1 e 3.2, indica que a tensão de choque sobre o bordo de ataque dos órgãos ativos é proporcional à massa do produto

agrícola de moagem. Os exemplos estimados de choque para milho em grão e para milho em palha citados no capítulo 3.1 indicam valores de 5% de Δx máximo iguais a $58,0 \text{ kg/mm}^2$ e 23.800 kg/mm^2 respectivamente.

O experimento 5.3.5. compara o desgaste provocado pelo milho em grão e pelo milho em palha, quando a dureza dos aços é $45 \pm 1 \text{ Rc}$ e os resultados obtidos nêle em contrados, mostram que o milho em palha provoca maior desgaste dos aços. Duas variáveis estão presidindo êste experimento: tensões de choque e material de contato, aqui referido como a sílica. Dois fatos podem estar acontecendo nêste ensaio. Ou as tensões de choque estão quebrando as estruturas cristalinas dos aços, já que as tensões para o milho em palha são consideravelmente maiores do que aquelas estimadas para milho em grão, ou então a maior quantidade de sílica encontrada no milho em palha (593 contra 30 mg de sílica por kg de produto de moagem) está provocando uma quantidade maior de riscos na superfície metálica e favorecendo o desgaste. Estas são as duas opções para a discussão do experimento 5.3.5.

De outro lado, o experimento que compara o efeito do produto agrícola de moagem para dureza alta dos aços (5.3.6.), informa que o efeito de ambos é o mesmo. Aqui observamos que o coeficiente de variação acusa um valor de 26,7%, considerado alto, e que tende a mascarar as conclusões estatísticas, pela dificuldade de comparar os con-

trastese das médias. De outro lado, se notarmos a média das médias gerais dos experimentos citados no QUADRO 31, tomadas entre os experimentos A e B contra os experimentos C e D, ou entre os experimentos 5.3.5. e 5.3.6., notamos que a média da média geral do experimento 5.3.6. vale 48,1 mg de aço desgastado / ton de milho moido, e que a média da média geral do experimento 5.3.7. vale 58,1 mg de desgaste.

Depreende-se disto que os aços duros reistiram mais ao desgaste, e aliado ao alto coeficiente de variação, resultou numa indiferença dos resultados.

Uma análise em conjunto que reflita o efeito do produto agrícola de moagem no desgaste dos martelos experimentais, não pode ser feita, pois os resultados são taxativos para casos particulares e não conclusivos em geral. Assim, notamos que o milho em palha desgasta mais aços moles, e que não há efeito quando os aços são duros, na comparação do desgaste provocado pelo produto agrícola de moagem.

6.3. NATUREZA DO DESGASTE ABRASIVO

Levando em consideração a natureza do desgaste abrasivo provocado pelo choque e pelo deslizamento abordados no capítulo 2.1., e observando os resultados obtidos, somos induzidos a discutir a respeito da natureza do desgaste ocorrido em órgãos ativos de moinhos à martelos móveis.

Antes de entrarmos nos detalhes individuais,

QUADRO 32. - Quadro conjunto dos experimentos de 5.3.5. a 5.3.8., indicativo da natureza do desgaste em martelos de moinhos.

EXPERIMENTO	VARIÁVEIS COMPARADAS	VARIÁVEL FIXADA	EFEITO DO DESGASTE	NATUREZA DO DESGASTE
5.3.5.	Milho em grão Milho em palha	Dureza baixa	Milho em palha desgasta mais	Choque (forças) Deslizam. (sílica)
5.3.6.	Milho em grão Milho em palha	Dureza alta	Desgaste indiferente	Choque e Deslizamento
5.3.7.	Dureza alta Dureza baixa	Milho em grão	Dureza baixa resiste mais	Choque
5.3.8.	Dureza alta Dureza baixa	Milho em palha	Dureza alta resiste mais	Deslizamento

é montado um quadro conjunto dos experimentos de 5.3.5. à 5.3.8., no qual podemos ter uma idéia mais clara do fenômeno.

Das variáveis citadas por ROSENBERG et alii (1964), apenas duas não foram controladas pelos ensaios. São elas respectivamente: pressão, aqui referida como tensão de choque e material de contato, aqui referido como produto agrícola de moagem.

No experimento 5.3.5., notamos que o milho em palha desgasta mais do que o milho em grão. Dois fenômenos podem estar interferindo: ou as tensões de choque provocadas pelo milho em palha, sendo maiores provocam quebra das estruturas cristalinas dos aços, devido ao choque, ou então a maior porcentagem de sílica encontrada no milho em palha está sendo a responsável pelo desgaste. Neste caso o desgaste seria abrasivo, e conseqüentemente provocado pela sílica.

Observando o experimento 5.3.6., notamos que o efeito do desgaste provocado pelo milho em grão ou pelo milho em palha sobre os aços de dureza alta, apresentam indiferença. Esta indiferença pode ser interpretada como o choque desgastando igualmente ou o deslizamento desgastando também igualmente. Em função deste parecer, não se pode tirar conclusões a respeito.

Os últimos experimentos fornecem um melhor material para a discussão, já que comparam a dureza dos aços

selecionados, e sem a interferência do fator sílica. Assim é devido à variável fixada, que é o produto agrícola de moagem. No primeiro dêles, ou seja, o experimento 5.3.7. compara o efeito do desgaste entre as durezas, quando o fator desgastante é o milho em grão. Os resultados indicam que os aços de dureza menor resistem mais. Como o teor de sílica é pequeno no milho em grão, e como os aços mais duros gastaram mais, somos induzidos a pensar que as estruturas cristalinas estão sendo quebradas pela ação de choque durante o processo de moagem.

No experimento em que é comparado o desgaste entre dureza alta e baixa provocado pelo milho em palha, o efeito do desgaste mostra que os aços mais duros resistem mais (experimento 5.3.8.). Se o fenômeno fôsse provocado pelo choque, os aços duros gastariam mais. Como a dureza maior resistiu mais, e como estamos tratando com teor de sílica bastante maior do que com o grão, somos inclinados a traduzir os resultados na afirmação que o deslizamento está presidindo o desgaste. A interpretação recai no fato de que aços mais duros resistem melhor ao risco, e conseqüente desgaste, do que os aços mais moles.

Um parecer conjunto dos experimentos de 5.3.5. à 5.3.8. não pode ser dado como uma única conclusão. Notamos a presença de choque e de deslizamento ao longo dos experimentos. A observação dos resultados dos experimentos 5.3.7. e 5.3.8. indica que na ausência de sílica no produto de moagem, o fenômeno é causado pelo choque. Quando o pro-

duto agrícola de moagem apresenta sílica, o fenômeno parece ser motivado pelo deslizamento. Como os experimentos 5.3.5. e 5.3.6. não comparam durezas que é o interêsse maior, e como uma discussão não levará a conclusões mais firmes, declinaremos de discutir em conjunto êstes experimentos.

7. CONCLUSÕES

De acôrdo com os resultados obtidos e para as condições em que foram realizadas as análises químicas e os ensaios de moagem de milho em grão e milho em palha, são tiradas as conclusões apresentadas adiante:

1. De uma forma geral em todos os experimentos, o aço SAE D₂ revelou-se o melhor dentre os aços ensaiados.
2. Ao nível de 45 ± 1 Rc o aço que mais resistiu ao desgaste provocado pelo milho em grão, foi o aço SAE D₂.
3. Ao nível de 45 ± 1 Rc de dureza, os aços que mais resistiram ao desgaste provocado pelo milho em palha foram os aços SAE D₂ e SAE S₁.
4. Os aços de dureza alta (55 ± 1 Rc) resistiram igualmen-

te ao desgaste provocado pelo milho em grão.

5. Os aços de dureza alta (55 ± 1 Rc) mais resistentes ao desgaste e operando com milho em palha foram os aços SAE 5160, SAE D₂ e SAE S₁.
6. De uma forma genérica, os experimentos mostraram que os aços ferramenta resistem mais aos desgastes do que os aços para molas.
7. Os aços de dureza baixa (45 ± 1 Rc) são mais desgastados pelo milho em palha do que pelo milho em grão.
8. Os aços de dureza alta (55 ± 1 Rc) são igualmente resistentes ao desgaste tanto pelo milho em grão como pelo milho em palha.
9. Os aços de dureza 45 ± 1 Rc resistem mais ao desgaste do que os aços de dureza 55 ± 1 Rc quando operados com milho em grão.
10. Os aços de dureza alta resistem mais ao desgaste do que os aços de dureza baixa, quando operando com milho em palha.
11. Não foi possível concluir de uma forma genérica a respeito da natureza do desgaste abrasivo processado em ór

gãos ativos de moinhos à martelos móveis. A comparação do efeito do desgaste provocado entre dureza alta e baixa na moagem de milho em grão, mostra que o choque preside o fenômeno, e quando é o milho em palha, o desgaste é provocado pelo deslizamento.

12. As análises químicas do produto agrícola de moagem indicaram valores de 30 mg de sílica / kg de milho em grão, e 593 mg de sílica / kg de milho em palha. Esta diferença indica que o milho em palha contém aproximadamente 20 vezes mais sílica do que o milho em grão. O teor de matéria graxa do milho em grão indicou 4,7% em peso e no milho em palha este índice chegou a 4,4%.
13. A observação microscópica dos corpos silicosos indicou a presença de grãos de quartzo e de espículas silicosas, tanto no milho em grão como no milho em palha, em uma gama variada de formas e dimensões.

8. RESUMO

Foram realizadas determinações de desgaste em órgãos ativos de moinhos à martelos móveis, estudando-se o comportamento deste desgaste em cinco tipos de aços: SAE 5160, SAE 6150, SAE S₁, SAE D₂ e SAE 1010, ao nível de durezas 45 ± 1 Rc e 55 ± 1 Rc, e empregando-se dois produtos agrícolas de moagem: milho em grão e milho em palha.

Foi feito um estudo teórico de forças e tensões que provocam o desgaste, assim como estimativas destas forças e destas tensões, visando-se esclarecer o fenômeno do desgaste ocorrido nos martelos dos moinhos. O estudo teórico mostrou que o desgaste pode ser provocado pelo efeito abrasivo de deslizamento e pelo efeito abrasivo de choque.

Uma determinação experimental correta deve ser feita com um fluxo constante do material a ser moído e que penetra no rotor da máquina, razão porque projetou-se, construiu-se e utilizou-se nos ensaios, um alimentador vibrató-

rio para espigas e grãos de milho.

As análises químicas do milho em grão indicaram um teor de matéria graxa de 4,7% e uma quantidade de 30 mg de sílica por kg; e do milho em palha, mostraram 4,4% de matéria graxa e 593 mg de sílica por kg.

Para aços de dureza baixa e operando com milho em grão, os desgastes em mg de aço por 2 ton. de produto moido foram: aço SAE 5160 - 54,7; aço SAE 6150 - 66,0 ; aço SAE S₁ - 46,2 e aço SAE D₂ - 18,4. Para os aços de dureza baixa e operando com milho em palha, os desgastes foram : aço SAE 5160 - 97,9; aço SAE 6150 - 103,8; aço SAE S₁ - 42,2 e aço SAE D₂ - 35,9. Para os aços de dureza alta e operando com milho em grão, os desgastes foram: aço SAE 5160 - 51,8; aço SAE 1010 - 45,4; aço SAE S₁ - 45,6 e aço SAE D₂ - 44,4. No caso de desgaste de aços de dureza alta e operando com milho em palha, os desgastes dos aços foram: aço SAE 5160 - 46,5; aço SAE 1010 - 74,6; aço SAE S₁ - 42,6; aço SAE D₂ - 34,1, indicando que o aço SAE D₂ é o mais resistente ao desgaste do que os outros.

Não foi possível determinar-se a natureza do desgaste abrasivo de uma forma geral, ocorrido nos órgãos ativos de moinhos à martelos móveis. O desgaste é provocado pelo deslizamento quando o produto agrícola é o milho em palha, e tal processo é provocado pelo choque quando o produto é o milho em grão.

9. SUMMARY

Wear determinations on active parts of hammer mills were determined, using five types of steel (SAE 5160, SAE 6150, SAE S₁, SAE D₂ and SAE 1010), with two levels of hardness: 45 \pm 1 Rc and 55 \pm 1 Rc, and with two sources of milling: shelled corn and ear corn.

A theoretical study was made to determine and estimate the strenghts and stresses that produce wear in hammer of hammer mills. The study showed that wear could be produced by sliding abrasion and impact abrasion.

A correct wear abrasion determination must be done with a continuous flow of milling material, and because of this, it was designed and utilized a vibratory feeder for ear and shelled corn.

Chemical analysis indicated for shelled corn 4,7% of fatty matter and 30 mg of silica/kg; and for ear corn 4,4% of fatty matter and 593 mg of silica/kg.

For low hardness steels working with shelled corn, the results of wear in mg/2 tons of milled product were: SAE 5160 - 54,7; SAE 6150 - 66,0; SAE S₁ - 46,2; and SAE D₂ - 18,4. To the low hardness steels working with ear corn, the results were: SAE 5160 - 97,9; SAE 6150 - 103,8; SAE S₁ - 42,2 and SAE D₂ - 35,9. For the high hardness steels working with shelled corn, the results were: SAE 5160 - 51,8; SAE 1010 - 45,4; SAE S₁ - 45,6 and SAE D₂ 44,4.

For the high hardness steels working with ear corn, the results were: SAE 5160 - 46,5; SAE 1010 - 74,5 ; SAE S₁ - 42,6, and SAE D₂ - 34,1, which indicates that SAE D₂ steel was the most resistant to wearing than the others.

It was not possible to determine the nature of abrasion wear in a general way, but in specific results, wear was produced by sliding abrasion when used ear corn, and by impact abrasion when shelled corn.

10. BIBLIOGRAFIA CITADA

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1969). Classificação por Composição Química dos Aços para Construção Mecânica. Norma-P-NB-82 (Em estágio Experimental). 2 p. Rio de Janeiro.
2. CHIAVERINI, V. (1965). Aços Carbono e Aços Liga. Publicação da Associação Brasileira de Metais. 2ª Edição. 456 pp. São Paulo.
3. CREMER, H. (1970). Aços Villares S.A. Correspondência particular. 1 pp. São Paulo.
4. DENCKER, C. H. et alii (1966). Manual de Técnica Agrícola. Ediciones Omega. 1135 - 1160. Barcelona.
5. DUFFEE, F. W. (1930). The Design and Performance of Small Hammer Type Feed Mills. Agricultural Engineering. 11(5). 171 - 176. Michigan.

6. MORRISON, F. B. (1966).. Alimentos e Alimentação dos Animais. Ed. Melhoramentos. 2ª Ed. 380 - 397. São Paulo.
7. PIMENTEL GOMES, F. (1970). Curso de Estatística Experimental. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 79 - 104; 168 - 196; 405 - 426. 4ª Ed. Piracicaba.
8. PUCKET, H. B. e DAUM, D. R. (1968). Performance of Small Hammer and Roller Mills for Grinding Livestock Feed. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Bulletin nº 1394. 25 p. Washington D.C.
9. RAUTER, R.O. (sem data). Aços Ferramenta. Tratamento Térmico e Seleção. Coletânea de Conferências do Instituto Eletrotécnico de Itajubá. 33 - 35 e 55 - 57. Minas Gerais.
10. ROSENBERG, S.J. et alii (1964). Subcommittee on Wear of Metals Handbook of American Society of Metals. 216 - 222. Ohio.
11. SCHEER, L. (1966). O Aço. Edição Springer - Verlag. 144 p. Berlin.
12. SHARP, R. B. (1962). Plant Silica: An Abrasive Constituint of Plant Matter. Journal of Agricultural

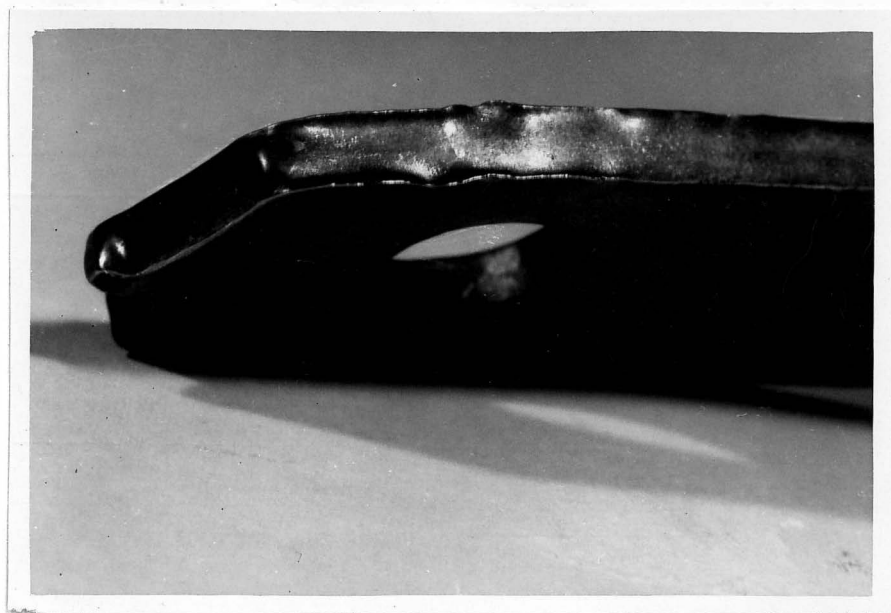
Engineering Research. 7. The British Society for Research in Agricultural Engineering. 214 - 220. Silsoe.

13. SILVEIRA, G. M. (1969). Estudo do Desgaste por Abrasão em Subsolador. Tese de Magister Scientiae apresentada e defendida na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 57 pp. Piracicaba.
14. SILVEIRA, G. M. (1970). Estudo da Abrasão em Órgãos Ativos de Cultivador. Tese de Doutor em Agronomia apresentada e defendida na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 72 pp. Piracicaba.
15. SILVEIRA, G. M. et alii. (1970). Desgaste por Abrasão em Órgãos Ativos de Máquinas Agrícolas. XXV Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais. 15 pp. Pôrto Alegre.
16. SILVER, E. A. (1931). Feed Grinder Investigations. Bulletin nº 490. Ohio Agricultural Experiment Station. Ohio.
17. VUTZ, W. (1931). Some Observations on Hammer Type Feed Grinders. Agricultural Engineering. 12(7). 271 - 274. Michigan.
18. WAGANOFF, N. P. (1956). Trituración - Molienda y Separación de Minerales. Libreria e Editora Alsina. 315 pp. Buenos Aires.

11. APÊNDICE

11.1. FOTOGRAFIAS DOS MARTELOS

As FOTOGRAFIAS 21, 22 e 23 adiante apresentadas são representativas de órgãos ativos de moinhos à martelos que tenham sofrido um tratamento térmico incorreto, e a sequência do desgaste provocado sobre o bordo de ataque, desde um martelo sem uso, até o desgaste completo.



FOTOGRAFIAS 21 e 22. - Desgaste anormal dos martelos construídos com aço SAE 1010 cementado incorretamente.





FOTOGRAFIA 23. - Sequência do desgaste nos órgãos ativos de moinhos à marte-
los móveis, observado-se o processo sôbre o bordo de ata-
que nas diversas peças.

11.2. RELAÇÃO DAS EMPRESAS FABRICANTES DE MOINHOS À MARTELOS.

- | | | |
|---|---|-------------------------|
| 1. Calibrás-Equipamento para Rações Ltda. | Rua Pirassununga 1211. C.P. 13.273. | São Paulo |
| 2. Cia. Hama Comércio, Indústria e Importação. | Rua Florêncio de Aibreu 464. C.P. 1.817 | São Paulo |
| 3. Cia. Penha de Máquinas Agrícolas S.A. | Rua João Clapp 465. | Ribeirão Preto |
| 4. Guido Atílio Gre-masco & Filhos S.A. | Rua Dr. Francisco P. M. Barbosa 909. C.P. 16. | Itapira |
| 5. Indústria, Comércio de Máquinas Suzuki & Irmãos. | Vila Santa Aureliana C.P. 153. | Santa Cruz do Rio Pardo |
| 6. Indústria Máquina D'Andréa S.A. | Av. Souza Queiróz 267. C.P. 55. | Limeira |
| 7. Indústria Mecânica Biagi. | Rua Bataguassú 503 | Araçatuba |
| 8. Irmãos Menta S.A. | Rua 7 de Setembro 600 | Cajurú |
| 9. Irmãos Nogueira S.A. | Rua 15 de Novembro 781. C.P. 7. | Itapira |
| 10. Jaime Estevam Be | Praça Vicente Frei- | |

- | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| nedetti & Cia. Ltda. | tas Guimarães 36/64.
C.P. 35. | São Paulo |
| 11. Justino de Morais e Irmãos S.A. | Rua Ana Luiza 568 .
C.P. 35. | Batatais. |
| 12. Lucato & Cia. | Rua Tiradentes 1315.
C.P. 61. | Limeira |
| 13. Máquinas Agrícolas Itapira Ltda. | Av. Rio Branco 472.
C.P. 1. | Itapira |
| 14. Máquinas Agrícolas Tigre S.A. | Rua Guarazinho 469.
C.P. 6099. | São Paulo |
| 15. Metalúrgia Vênetta Ltda. | Rua Brito Peixoto 48
C.P. 14.145. | São Paulo |
| 16. Indústria Machina Zaccaria S.A. | Largo da Boa Morte -
11. C.P. 54. | Limeira |



INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

CIDADE UNIVERSITÁRIA - ARNANDO DE SALLES OLIVEIRA -
CAIXA POSTAL, 7.M - SÃO PAULO - BRASIL

Certificado N.º 313.027

Material: Aço

Natureza do trabalho: Diversas determinações

Interessado: Luiz Gentil Bocorny Gentil

Amostra fornecida pelo interessado com a indicação: "Amostra 5160".

RESULTADOS

NOTA IMPORTANTE
OS RESULTADOS DESTE ENSAIO TÊM SIGNIFICAÇÃO
RESTRITA E SE APLICAM TÃO SÓMENTE À AMOSTRA
TRAZIDA PELO INTERESSADO.

Carbono (C)	0,61 %
Silício (Si)	0,38 %
Manganês (Mn)	0,84 %
Cromo (Cr)	0,81 %

São Paulo, 9 de março de 1970

Seção de Análises de
Produtos Metalúrgicos

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

ALBERTO PEREIRA DE CASTRO
Superintendente



INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

CIDADE UNIVERSITÁRIA - ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA -
CAIXA POSTAL, 7.M - SÃO PAULO - BRASIL

Certificado N.º 313.028

Material: Aço

Natureza do trabalho: Diversas determinações

Interessado: Luiz Gentil Bocorny Gentil

Amostra fornecida pelo interessado com a indicação: "Amostra 6150".

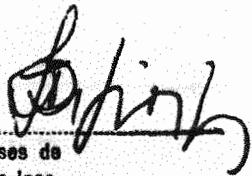
RESULTADOS

NOTA IMPORTANTE

OS RESULTADOS DESTES ENSAIOS TÊM SIGNIFICAÇÃO RESERVA E SE APLICAM TÃO SOMENTE À AMOSTRA TRAZIDA PELO INTERESSADO.

Carbono (C)	0,53 %
Manganês (Mn)	0,83 %
Cromo (Cr)	0,96 %
Vanádio (V)	0,11 %

São Paulo, 9 de março de 1970


Seção de Análises de
Produtos Metaúrgicos

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS


ALBERTO FERRIRA DE CASTRO
Superintendente



INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS
CIDADE UNIVERSITÁRIA - ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA -
CAIXA POSTAL, 7.000 - SÃO PAULO - BRASIL

Certificado N.º 313.029

Material: Aço

Natureza do trabalho: Diversas determinações

Interessado: Luiz Gentil Bocorny Gentil

Amostra fornecida pelo interessado com a indicação: "Amostra 51".

NOTA IMPORTANTE

OS RESULTADOS DESTE ENSAIO TÊM SIGNIFICAÇÃO
RESTRITA E SE APLICAM TÃO SOMENTE À AMOSTRA
TRAZIDA PELO INTERESSADO

RESULTADOS

Carbono (C)	0,46 %
Cromo (Cr)	1,07 %
Tungstênio (W)	2,05 %

São Paulo, 9 de março de 1970

Seção de Análises de
Produtos Meta Orgânicos

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

ALBERTO PEREIRA DE CASTRO
Superintendente



INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

CIDADE UNIVERSITÁRIA - ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA -
CAIXA POSTAL, 7.000 - SÃO PAULO - BRASIL

Certificado N.º 313.030

Material: Aço

Natureza do trabalho: Diversas determinações

Interessado: Luiz Gentil Bocorny Gentil

Amostra fornecida pelo interessado com a indicação: "Amostra D2".

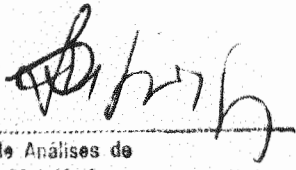
NOTA IMPORTANTE

OS RESULTADOS DESTES ENSAIO TÊM SIGNIFICAÇÃO
RESTRITA E SE APLICAM TÃO SOMENTE À AMOSTRA
TRAZIDA PELO INTERESSADO.

RESULTADOS

Carbono (C)	1,54 %	—
Cromo (Cr)	11,6 %	—
Molibdênio (Mo)	0,77 %	—

São Paulo, 9 de março de 1970


Seção de Análises de
Produtos Metalúrgicos

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS


ALBERTO PEREIRA DE CASTRO
Superintendente

11.4. LISTA DE FOTOGRAFIAS

página

1. Microestrutura do aço SAE 5160 temperado, revenido e atacado com nital. Aumento de 160 vezes e dureza 55 ± 1 Rc. 48
2. Microestrutura do aço SAE S₁ temperado, revenido e atacado com nital. Aumento de 160 vezes e dureza 55 ± 1 Rc. 49
3. Microestrutura do aço SAE D₂ temperado, revenido e atacado com nital. Aumento de 160 vezes e dureza 55 ± 1 Rc. 50
4. Microestrutura do aço SAE 5160 temperado, revenido e atacado com nital. Aumento de 160 vezes e dureza 45 ± 1 Rc. 50
5. Microestrutura do aço SAE 6150 temperado, revenido e atacado com nital. Aumento de 160 vezes e dureza 45 ± 1 Rc. 51
6. Microestrutura do aço SAE S₁ temperado, revenido e com aumento de 160 vezes. Ataque com nital e dureza 45 ± 1 Rc. 52
7. Microestrutura do aço SAE D₂ temperado, revenido e com aumento de 160 vezes. Ataque com nital e dureza 45 ± 1 Rc. 52
8. Microestrutura do aço SAE 1010 cementado com 35 Rc e com aumento de 160 vezes. Ataque com nital. 53
9. Microestrutura do aço SAE 1010. Estrutura perlítica e ferrítica com aumento de 160 vezes e dure-

za 84 Rb.	53
10. Martelo industrial típico em (a) e martelo experi <u>men</u> tal em (b).	54
11. Pino móvel mostrando área de desgaste <u>provocado</u> pelo apôio do órgão ativo.	55
12. Montagem dos martelos utilizados nos ensaios.	56
13. Conjunto moageiro mostrando moinho, alimentador e ciclone.	58
14. Vista lateral do alimentador vibratório, <u>mostran</u> do cuba circular, sistema vibratório e armação.	64
15. Vista frontal do alimentador vibratório, <u>mostran</u> do cuba circular, sistema vibratório e armação.	65
16. Sistema vibratório do alimentador, indicando mo- tor, biela e amortecedor.	66
17. Destaque do excêntrico do vibrador localizado den <u>tro</u> do rolamento de esferas e eixo do motor elé- trico.	66
18. Detalhe do sistema de lubrificação mostrando lata de óleo, registro e conduto plástico conduzido ao rolamento.	67
19. Amostra de milho em palha, variedade H.M.D. 7974, usado nos ensaios de moagem.	69
20. Milho em grão usado nos ensaios de desgaste dos martelos de moinhos de ração.	70
21 e 22. Desgaste <u>anormal</u> dos martelos construídos com	

aço SAE 1010 cementado incorretamente.	122
23. Sequência do desgaste nos órgãos ativos de moinos à martelos móveis, observando-se o processo sôbre o bordo de ataque nas diversas peças.	123

11.5. LISTA DE QUADROS

1. Acréscimo máximo de temperatura experimentado pelo produto agrícola, indicando condições de ensaio, conforme SILVER, E.A. (1931).	14
2. Dados de tratamento térmico utilizado nos ensaios preliminares.	40
3. Análise química dos aços selecionados, conforme o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.	42
4. Dimensionamento do perfil e durezas das barras de aço recebidas do fornecedor.	43
5. Dados de tempo, temperatura e durezas dos aços tratados termicamente.	45
6. Valôres médios dos dados físico-químicos do milho em palha.	69
7. Valôres médios dos dados físico-químicos do milho em grão.	70
8. Delineamento estatístico utilizado nos ensaios de moagem.	73

9. Pêso de milho moido nos ensaios preliminares.(kg)	76
10. Desgaste dos aços usados nos ensaios preliminares em mg de aço desgastado pelo total de milho moído.	77
11. Desgaste médio dos aços em mg / ton. de produto moído.	78
12. Dimensionamento médio dos corpos silicosos encontrados no milho em grão e no milho em palha. (dados em μ).	79
13. Análise quantitativa dos corpos silicosos encontrados no produto agrícola usado nos ensaios de moagem.	80
14. Desgaste dos martelos de dureza baixa operando com milho em grão.	81
15. Análise da variância dos desgastes dos tratamentos de dureza baixa, operando com milho em grão.	82
16. Desgaste dos martelos de dureza baixa, operando com milho em palha.	83
17. Análise da variância dos desgastes dos tratamentos de dureza baixa, operando com milho em palha.	84
18. Desgaste dos martelos de dureza alta, operando com milho em grão.	86
19. Análise da variância dos desgastes dos tratamentos de dureza alta, operando com milho em grão.	87
20. Desgaste dos martelos de dureza alta, operando com	

milho em palha.	88
21. Análise da variância dos desgastes dos tratamentos de dureza alta, operando com milho em palha.	90
22. Dados da soma de cada tratamento dos experimentos A e B, para comparação do desgaste entre milho em grão e milho em palha.	92
23. Análise da variância comparativa entre desgastes observados com aços de dureza $45 \pm 1 R_c$ para moagem de milho em grão e milho em palha.	93
24. Dados da soma de cada tratamento dos experimentos C e D, para comparação de desgaste entre milho em grão e milho em palha.	94
25. Análise da variância comparativa entre os desgastes observados com aços de dureza $55 \pm 1 R_c$ para moagem de milho em grão e em palha.	95
26. Quadro conjunto dos experimentos A, B, C e D, mostrando os aços mais resistentes ao desgaste, assinalados com um x.	96
27. Dados de desgaste dos aços dos martelos experimentais de dureza alta e baixa, na moagem de milho em grão.	97
28. Análise da variância para comparação entre o Experimento (A) e o Experimento (B).	98
29. Dados de desgaste dos aços dos martelos experimentais, de dureza alta e baixa, na moagem de milho	

em palha.	99
30. Análise da variância dos dados de desgaste entre durezas alta e baixa, para martelos desgastados pelo milho em palha.	100
31. Coeficiente de variação e médias gerais dos ensaios.	102
32. Quadro conjunto dos experimentos de 5.3.5. a 5.3.8., indicativo da natureza do desgaste em martelos de moinhos.	107

11.6. LISTA DE FIGURAS

1. Órgãos ativos de moinhos à martelos.	24
2. Deslocamento do órgão ativo.	26
3. Forças que atuam sobre o órgão ativo de moinhos à martelos.	33
4. Forças que atuam sobre o órgão ativo de moinhos à martelos.	34
5. Esquema cotado dos órgãos ativos experimentais de moinhos à martelos.	46
6. Disposição dos martelos experimentais no rotor do moinho (a) vista lateral e (b) vista transversal.	57
7. Detalhe da fixação do pé do alimentador vibratório mostrando pé em (a), luva de cano galvanizado em (b) e apôio de borracha em (c).	63

G R A T I D ã O

Gratidão às emprêsas fabricantes de moinhos e de aços que forneceram materiais, motivo e motivações para a realização do presente trabalho.

Gratidão aos colegas da Escola de Engenharia de São Carlos, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, do Instituto Agrônômico de Campinas e Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia de Jaboticabal.

Gratidão ao amigo e orientador, Dr. Odilon Saad, Professor Associado do Departamento de Engenharia Rural da E.S.A.L.Q. de Piracicaba.

Gratidão aos Profs. Drs.: Izaias Nogueira, Gastão Morais da Silveira, Dirceu Spinelli, Jesus Marden dos Santos, Alfredo Lam-Sánchez e Adolfo Hengeltraub.

Gratidão a todos outros amigos e colegas que colaboraram direta ou indiretamente para que esta pesquisa pudesse ser realizada.