

ESTUDO DO DESGASTE POR ABRASÃO
EM SUBSOLADOR

GASTÃO MORAES DA SILVEIRA
Engenheiro Agrônomo

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

Junho de 1969
Piracicaba, Estado de São Paulo
B R A S I L

À minha avó, pais e noiva

Í N D I C E

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	
3.1. Solo	12
3.2. Bico do Subsolador	16
3.3. Preparo dos Bicos	18
3.4. Ensaio de Campo	21
4. RESULTADOS OBTIDOS	
4.1. Dureza dos Bicos	24
4.2. Perda de Pêso dos Bicos	26
4.3. Microestrutura dos Bicos	26
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO	
5.1. Dureza dos Bicos e Tratamento Térmico	30
5.2. Desgaste dos Bicos e Ensaio de Campo	36
5.3. Desgaste dos Bicos e Características do Metal	44
6. CONCLUSÕES	47
7. RESUMO	49
8. SUMMARY	51
9. BIBLIOGRAFIA CITADA	53
AGRADECIMENTOS	56

1. INTRODUÇÃO

As máquinas agrícolas, cujos órgãos ativos trabalham em íntimo contacto com as partículas abrasivas do solo, apresentam problemas de desgaste abrasivo. Esse desgaste, como fenómeno de deterioração superficial, é decorrente da utilização das máquinas e constitui fator limitante da vida útil de suas peças ativas. O crescente aumento da produção e emprêgo destes equipamentos, bem como a necessidade de prolongar a utilização de seus órgãos ativos, torna importante o estudo desse assunto.

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento dos órgãos ativos de um subsolador, submetidos a duas modalidades de tratamento térmico em relação ao desgaste por abrasão. Esse estudo envolve a utilização de aço hipoeutetóide, usado

comumente pelos fabricantes de máquinas agrícolas, e a apreciação de seu comportamento frente a dois tipos de solos, a saber: série Sertãozinho, pertencente ao grande grupo Regossol, e uma unidade do grande grupo Latossol Vermelho Amarelo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desgaste de metais é considerado por ROSENBERG et al.(1948) como um fenômeno de superfície. A fricção do metal com outros corpos provoca o desligamento e deslocamento de partículas, resultando na decomposição mecânica e progressiva da superfície metálica. A fricção pode ocorrer pelo contacto da superfície metálica com um outro metal, com um não metal, ou com um fluxo de líquido ou gás, resultando em desgastes denominados, respectivamente: desgaste metálico, desgaste por abrasão e desgaste por erosão.

As peças ativas que trabalham em contacto com o solo apresentam, segundo GILL & VANDEN BERG (1967), desgaste por abrasão. As partículas do solo, em fricção com a superfície

dos órgãos ativos, desagregam fragmentos metálicos, produzindo ranhuras mais ou menos profundas.

AVERY, citado por BORGHEI (1968), classifica o desgaste por abrasão de peças que trabalham em contacto direto com o solo em:

- . abrasão sob fraca pressão (arranhamento ou erosão);
- . abrasão por escavação (entalhamento);
- . abrasão sob forte pressão (esmerilhamento).

Embora êsses vários tipos apareçam juntos, o autor descreve as condições em que êles ocorrem, permitindo julgar a forma dominante.

Os órgãos das máquinas que trabalham no solo constituem, do ponto de vista da abrasão, de acôrdo com GILL & VANDEN BERG (1967), um "sistema solo-metal". Nêle a abrasão tem lugar sob efeito das interações dos fatores: características do metal, do solo e de ordem operacional.

As características das ligas ferro-carbono que têm relação com a abrasão, segundo BORGHEI (1968), são: dureza, estrutura, teor de carbono e tratamento térmico. Para um mesmo teor de carbono, BAIN (1939) afirma que a dureza e a estrutura são determinadas pelo tratamento térmico. Isso é também confirmado por BABICHEV (1960) que, estudando aço U8 (0,83% C, 0,35% Mn, 0,26% Si) recozido, temperado e revenido, obteve durezas de 189 a 765 HV (*) e estruturas variando desde perlítica até martensítica.

Quanto à relação dureza do metal e desgaste, parece ha

(*) A norma TC 17-921 da I.S.O.(1959) especifica a indicação da dureza Vickers através da carga e seu tempo de aplicação, quando êste difere de 10 a 15 segundos. Muitos autôres, entretanto, não fornecem êsses dados de forma completa. Do ravante, as citações serão feitas utilizando-se os dados apresentados pelos autôres e, nos demais casos, de acôrdo com a norma I.S.O.

ver certa divergência entre os autores. KHRUSHCHOV & BABICHEV (1956) estudam o desgaste provocado por partículas abrasivas no aço U8 submetido a tratamento térmico. Relacionam as durezas do aço e das partículas abrasivas e chegam às seguintes conclusões:

- . com grãos abrasivos de coríndon, cuja dureza é de 2.290 HV 0,1 e corpos de prova com dureza de 186 a 795 HV, portanto numa gama de dureza bem menor que a do abrasivo, o desgaste parece não depender da diferença de dureza entre ambos;
- . com grãos de sílica de dureza 585 HV 0,05, a resistência ao desgaste cresceu consideravelmente com o aumento da dureza dos corpos de prova de 186 para 795 HV;
- . não só a dureza, mas também a aspereza ou angulosidade dos grãos, decorrentes de sua forma, influem na capacidade de desgastar a superfície metálica.

Embora esses autores tenham observado que a forma dos grãos abrasivos têm influência no desgaste, não apresentam dados que permitam avaliar suas interrelações.

VELIKANOVA (1962) completa os trabalhos de KHRUSHCHOV & BABICHEV (1956), utilizando o mesmo aço U8, porém com outros tipos de tratamento térmico, e verifica haver uma relação linear entre a dureza do metal, que varia de 219 a 810 HV 0,2 e a do abrasivo, constituído por um solo arenoso, tendo 40% de feldspato, com dureza variando de 500 a 700 HV, e 45% de quartzo, com dureza variando de 1.000 a 1.500 HV. Observa-se que a dureza do metal se encontra nos limites da dureza dos elementos abrasivos que representam 85% da composição do solo. O autor caracteriza o solo através de sua textura e apresenta os seguintes valores de tamanho e quantidade das partículas: a) de 0,25 a 1 mm - 32,53%; b) 0,05 a 0,25 mm - 49,37% e c) menores que 0,05 mm - 18,10%.

KHRUSHCHOV & BABICHEV, citados por BORGHEI (1968), relacionam a resistência relativa ao desgaste com o quociente en-

tre as durezas do abrasivo e do metal. Os autores realizam ensaios de abrasão em aços, cujas durezas se situam entre 200 e 1.000 HV, com abrasivo onde predomina a sílica, de dureza entre 500 a 1.100 HV. Verificam que uma pequena variação na dureza do abrasivo conduz a uma diferença considerável na resistência ao desgaste.

Embora os autores citados correlacionem diretamente o desgaste com a dureza, outros mostram que não só a dureza, mas também a estrutura, deve ser levada em conta. MOHSENIN et al. (1956) estudam a correlação entre dureza Brinell e resistência ao desgaste, em ferro fundido temperado e não temperado. Concluem que no ferro fundido não temperado, com microestrutura uniforme de perlita e grafite, existe uma correlação entre dureza e resistência ao desgaste. Em se tratando de ferro fundido temperado, cuja microestrutura apresenta uma distribuição desuniforme de carbonetos de ferro na matriz de perlita, não se evidencia correlação entre dureza e resistência ao desgaste.

BERNHARDT, ROSENBERG e ROSENBERG & HERSCHMAN, citados por REED & GORDON (1951), realizam ensaios comparativos em corpos de prova retirados de órgãos ativos que trabalham no solo, com a mesma dureza mas com diferentes estruturas. Verificam que a resistência ao desgaste é variável de acordo com a estrutura e a consideram mais importante do que a dureza.

NOVITSKAIA (1959) estuda os aços U8, U10 (1,02% C, 0,22% Mn, 0,18% Si) e U12 (1,17% C, 0,25% Mn, 0,22% Si). Os aços U8 e U10, recozidos a diferentes temperaturas, apresentaram estrutura perlítica e dureza variando de 215 a 272 HV 0,2. O aço U12, submetido à várias têmperas, mostrou estrutura martensítica e dureza variando de 580 a 950 HV 0,2. Comparando as estruturas e as durezas com as respectivas resistências ao desgaste, conclui que o estudo da estrutura, para a avaliação da resistência ao desgaste, é um critério mais rígido do que a determinação da dureza.

As ligas de ferro-carbono são raramente constituídas de uma única fase. Geralmente aparecem duas fases, que coexistem na mesma estrutura básica, uma mais mole, que atua como suporte, e outra mais dura, que oferece resistência à abrasão. Por outro lado, as técnicas usuais de medida da dureza dos metais, a menos que haja uma completa homogeneidade de sua estrutura, conduzem a um valor médio das durezas das diversas fases. Assim sendo, a aparente divergência entre os autores citados parece fundamentar-se nas diferenças de métodos de caracterização do material.

Quanto à estrutura, alguns autores julgam ser a martensita a mais resistente à abrasão e mostram que o metal terá maior resistência na medida em que a quantidade de microconstituintes duros for aumentada. Segundo BORGHEI (1968) as durezas máximas que se podem obter com os seguintes microconstituintes são: ferrita - 160 HV; perlita - 260 HV; bainita - 550 HV; martensita - 750 HV e os carbonetos - 1.200 HV.

O solo, segundo GILL & VANDEN BERG (1967), no "sistema solo-metal" não pode ser caracterizado como um corpo rígido, sob o ponto de vista da abrasão. As forças presentes na área de contacto, onde ocorrem o arranhamento e o corte da superfície metálica, são altamente complexas e de magnitudes variadas. Assim, nenhum modelo matemático representativo do comportamento real dessas forças foi desenvolvido; ensaios empíricos de desgaste, através de experimentação de campo, são empregados para avaliar a abrasão. Os autores, com base em experimentação de campo, concluem serem o conteúdo de água, a textura, a dureza e aspereza ou angulosidade das partículas, as principais características físicas do solo que afetam o desgaste por abrasão.

O teor de água no solo e sua relação com o desgaste é estudado por KARATISH, citado por GILL & VANDEN BERG (1967), em áreas irrigadas, onde a umidade do solo pode ser alterada. O

autor verifica que, nas condições de seu trabalho, a vida útil de uma relha para solo areno-barrento, em termos de área trabalhada, é de 1,6 ha para umidade de 6-7%; de 2,4 ha para 12-13%; e de 6,4 ha para 16-18%.

Outros autores, como KHRUSHCHOV & BABICHEV (1958), citam a intensidade de desgaste das relhas de arados em função de sua redução de comprimento, por metro de espaço percorrido. Assim, em solos podzolizados da região de Leningrado, o desgaste variou de 0,002 a 0,006 μ/m ; em solos arenosos de Poles, de 0,0006 a 0,24 μ/m ; em solos areno-barrentos da região de Chernigovsku, de 0,03 a 0,07 μ/m ; em solos da Ásia Central, de 0,05 a 0,135 μ/m ; em solos pesados, 0,18 μ/m .

Como se observa, em geral os autores caracterizam os solos em termos genéricos, não fornecendo maiores detalhes sobre os métodos de quantificação das propriedades diretamente relacionadas com a abrasão.

As características operacionais importantes no desgaste, segundo GILL & VANDEN BERG (1967) são: a profundidade de trabalho, o tempo e a velocidade relativa entre a superfície metálica e o solo.

BORGHEI (1968), constata que a maioria dos pesquisadores expressa a ação dos fatores tempo e velocidade em termos de espaço percorrido. Verifica também uma proporcionalidade entre o desgaste expresso em perda de peso e o espaço percorrido, denominando-a de "taxa de desgaste". Esse autor, estudando aço XC 97 g (0,97% C, 0,55% Mn, 0,35% Si) temperado e revenido com dureza entre 40 e 45 Rockwell C, obtém taxas de desgaste de 0,25 a 0,54 gf/km, não especificando a composição mineralógica e a dureza das partículas do solo.

Vários autores estudaram a influência do tratamento térmico no desgaste apresentado pelos órgãos ativos de máquinas, em condições de campo.

MOHSENIN et al. (1956) pesquisaram ferro fundido hipoeutético (2,9% C, 0,80% Mn, 0,07% S, 0,11% P, 1,7% Si, 0,96% Ni, 0,36% Cr, 0,24% Mo) e eutético (3,6% C, 0,77% Mn, 1,3% Si, 0,12% P, 0,07% S, 0,99% Ni, 0,26% Mo). Constataram que, em ambos, o ferro fundido sem têmpera apresenta um desgaste quatro a cinco vezes maior que seu correspondente temperado, sob as mesmas condições de solo.

STROPPEL (1961) estuda a influência do tratamento térmico em aço indicado para construção de relhas, cuja composição, segundo a norma DIN 11-100, é 0,43% C, 1,40% Mn, 0,60% Si, 0,07% P, 0,07% S. Constata que o desgaste da relha que não recebeu têmpera é de três a quatro vezes maior, quando comparado com o de uma outra, temperada a 850°C e revenida a 300°C, tendo dureza de 700 HV.

VELIKANOVA (1962) estuda o aço U8, utilizado em órgãos ativos de cultivadores que trabalham a 80 mm de profundidade, submetidos aos seguintes tratamentos térmicos: recozimento a 800°C, têmpera a 810°C, têmpera seguida de revenido a 400°C, obtendo durezas de 219, 810 e 522 HV 0,2, respectivamente. Observa que as peças recozidas têm um desgaste quatro vezes maior que as temperadas e duas vezes maior do que as temperadas e revenidas.

De acôrdo com os autores citados, a maneira mais usual para quantificar o desgaste em máquinas de preparo do solo, em condições de campo, parece ser a perda de peso do órgão ativo, em relação ao espaço percorrido. Outras técnicas têm sido utilizadas, como a de FAIRBANKS, citado por GILL & VANDEN BERG (1967), através da qual o desgaste de arados de aiveca é quantificado por meio de radioisótopos. Pequenas porções de metal, submetidas à radiação são implantadas em aivecas e, após trabalho no campo, as partículas metálicas removidas por abrasão são detectadas no solo por meio de contadores de radiação.

Segundo BORGHEI (1968), os resultados obtidos nos ensaios de abrasão, em condições de campo, podem ser definidos por:

- a) Taxa de Desgaste: é o volume ou peso do material perdido pela peça em estudo, para uma determinada distância ou na unidade de espaço percorrido; é usada para a comparação do desgaste de materiais com características diferentes sob as mesmas condições de ensaio.
- b) Taxa de Desgaste Relativo: é a relação entre a taxa de desgaste do material em estudo e a taxa de desgaste de uma amostra padrão. Uma vez que a taxa de desgaste relativo não possui dimensão, é usada apenas para a comparação do desgaste de materiais com características diferentes; sob diferentes condições de ensaio, em relação ao mesmo material padrão.
- c) Resistência Relativa ao Desgaste: é o inverso da taxa de desgaste relativo.
- d) Taxa Específica de Desgaste: é o desgaste expresso pela redução de área de contacto entre o órgão ativo e o solo, por unidade de espaço percorrido.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O material e métodos empregados no desenvolvimento deste trabalho abrangem o solo, os órgãos ativos do subsolador e os métodos de ensaio. O solo será descrito pelas características de interesse no processo de desgaste por abrasão. Em relação aos órgãos ativos do subsolador, comumente designados "bicos" (*) do subsolador, serão apresentadas suas dimensões, forma e composição química. Serão caracterizados, também, o material e tratamento térmico utilizados no processo de fabricação dos órgãos ativos, suas respectivas durezas e microestruturas. Finalmente, serão apresentados o material e métodos empregados

(*) Doravante, neste trabalho, os órgãos ativos do subsolador também serão designados simplesmente como "bicos".

nos ensaios de campo e na análise matemática dos dados obtidos.

3.1. SOLO

Os solos utilizados neste trabalho fazem parte de dois perfis identificados por RANZANI et al. (1966) e (1968). O primeiro pertence ao perfil modal da série Sertãozinho e faz parte do grande grupo Regossol. Localiza-se no Bairro Sertãozinho, em terrenos da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", de Piracicaba, SP., e sua análise mecânica é fornecida pela Tabela 1.1, à página 13. Na época do ensaio, apresentava-se recoberto com restos de cultura de milho (Zea mays, L.) e pequena quantidade de cipó (Ipomea, sp.). O segundo, é uma unidade de solo pertencente à unidade de mapeamento Latossol Vermelho Amarelo-Orto. Localiza-se nos campos experimentais do Centro de Mecânica Agrícola, Jundiaí, SP., e sua análise mecânica é fornecida pela Tabela 1.1. Na ocasião do ensaio, apresentava-se recoberto de vegetação com altura de aproximadamente meio metro, constituída principalmente das seguintes espécies: capim gordura (Melinis minutiflora, Beauv.), beldroega (Portulaca oleracea, L.), picão (Bidens pilosus).

As características do solo de interesse no processo de abrasão, segundo GILL & VANDEN BERG (1967), são: textura, unidade, dureza e angulosidade das partículas.

Quanto a textura, fornecida pela Tabela 1.1, observa-se que o solo pertencente à série Sertãozinho, na profundidade de trabalho do bico do subsolador, não possui esqueleto de terra e que a fração areia dominante é a fina. O Latossol Vermelho Amarelo-Orto, revela a presença de esqueleto de terra de 81% na profundidade de trabalho dos órgãos ativos e, entre as frações areia, a dominante é a areia média.

Quanto à composição mineralógica, os solos utilizados

Tabela 1.1. Análise Mecânica da Série Sertãozinho e do Latossol Vermelho Amarelo-Orto. Segundo PANZANI et al. (1966) e (1968).

Profundidade (cm)	Horizonte	Esqueleto (mm)	Análise Mecânica			Pipeta, (%)	NaOH	Argila	Classe Textural	Densidade
			Areia muito grossa	Areia média	Areia fina					
Solo		>20	Areia muito grossa (1-0,5) (2-1)	Areia média (0,5-0,25) (0,25)	Areia fina (0,25-0,10) (0,10)	Areia muito fina (0,05-0,002) (0,002)	<0,002	Dr	Da	
Série Sertãozinho	0-25 Ap	-	0,3	9,5	12,2	47,7	13,3	1,2	15,6	2,4 1,6
Latosol Vermelho Amarelo/Orto	0-25 Ap	-	1,6	12,3	21,1	20,9	5,8	3,7	34,3	2,6 1,5

neste trabalho apresentam uma elevada frequência percentual em peso de quartzo, como mostra a Tabela 1.2. Os dados apresentados nessa Tabela foram obtidos a partir de análise efetuada, segundo métodos descritos por LEINZ & CAMPOS (1962), no Departamento de Geologia e Paleontologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, da USP - Universidade de São Paulo.

Tabela 1.2. Análise Mineralógica dos Solos.

Minerais	Série	Latossol Vermelho
	Sertãozinho	Amarelo - Orto
Quartzo	87,98%	96,80%
Limonita	5,84%	3,20%
Magnetita	6,18%	-

As informações obtidas na revisão bibliográfica indicam a necessidade de determinação da dureza dos principais constituintes do solo empregado. Esses dados, apresentados na Tabela 1.3, foram determinados segundo método descrito por CAMERON (1961), no Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, da USP.

Tabela 1.3. Dureza do Quartzo e Limonita.

Minerais	Dureza Vickers	
	HV 0,2/30	HV 0,1/30
Quartzo	1.560	-
Limonita	-	262

Levando-se em consideração os dados das Tabelas 1.2 e 1.3, verifica-se que o quartzo, mineral que apresenta a mais alta dureza, é encontrado em maior quantidade no Latossol Vermelho Amarelo-Orto. A limonita, embora presente nos dois tipos de solo, se encontra em maior quantidade na série Sertãozinho.

Desde que o desgaste por abrasão, segundo KHRUSHCHOV & BABICHEV (1956), depende também da angulosidade das partículas

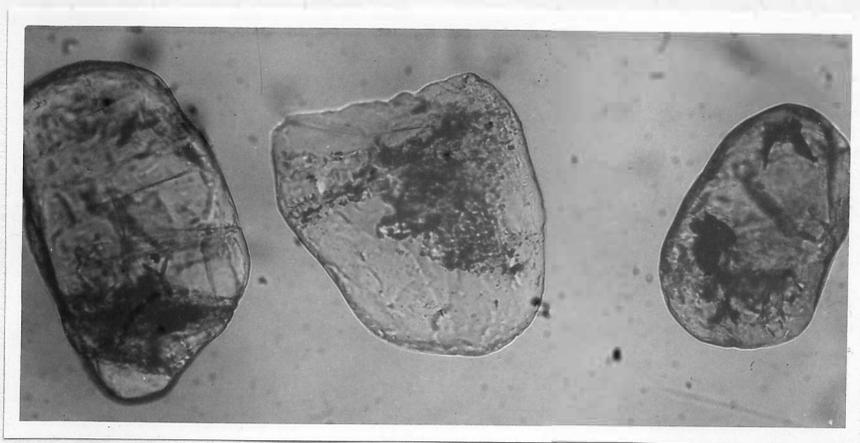


Figura 1. Grãos de quartzo da série Sertãozinho. Montagem em "Bálsamo do Canadá". Fotografia com aumento de 99 vezes em microscópio metalográfico.

do solo, determinou-se o arredondamento dos grãos de quartzo, presentes em ambos os solos utilizados, de acordo com o quadro de KRUMBEIN (1941).

As Figuras 1 e 2 mostram o arredondamento das partículas de quartzo presentes na série Sertãozinho e no Latossol Vermelho Amarelo - Orto, respectivamente.

Comparando-se o contorno dos grãos da Figura 1 com os contornos do quadro de KRUMBEIN (1941), obtém-se um valor para o arredondamento de 0,7 - 0,8. Efetuando-se a mesma comparação com os grãos da Figura 2, resulta num valor 0,1 - 0,3 para

o arredondamento do quartzo no Latossol Vermelho Amarelo - Orto.

A umidade dos solos utilizados no presente trabalho, determinada segundo o método descrito em 3.4, durante a realização dos ensaios de campo, é apresentada na Tabela 4.2, à página 28.

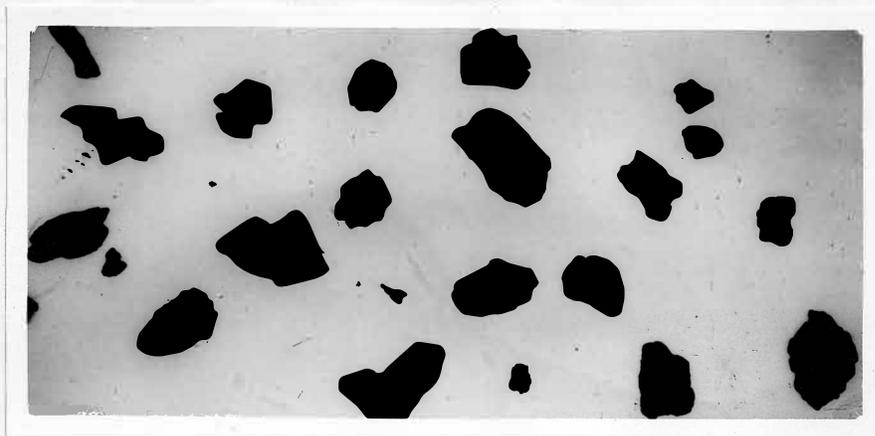


Figura 2. Grãos de quartzo do Latossol Vermelho Amarelo-Orto. Fotografia com aumento de 5 vezes em projetor de perfis.

3.2. BICO DO SUBSOLADOR

O bico é o órgão ativo do subsolador, máquina destinada ao revolvimento sub-superficial do solo. O espécime utilizado neste trabalho é construído pela IMASA - Indústria de Máquinas Agrícolas Fuchs S.A. e denominado, pelo fabricante, "ara do pé-de-pato". Esta máquina foi enviada ao Centro de Mecânica Agrícola, para realização de ensaios de desempenho visando à elaboração de um Relatório Oficial de Ensaio. Durante esses ensaios observou-se um acentuado desgaste de seus órgãos ativos, fato que concorreu para seu emprêgo no desenvolvimento do presente trabalho.

O bico é montado na extremidade inferior da coluna do

subsolador, como indicado por A, na Figura 3. Seu formato, di-
mensões e posição na coluna são mostrados, em planta, na Figura
4.



Figura 3. Vista geral do "arado pé-de-pa-
to" IMASA, mostrando o bico (A) e a coluna
(B).

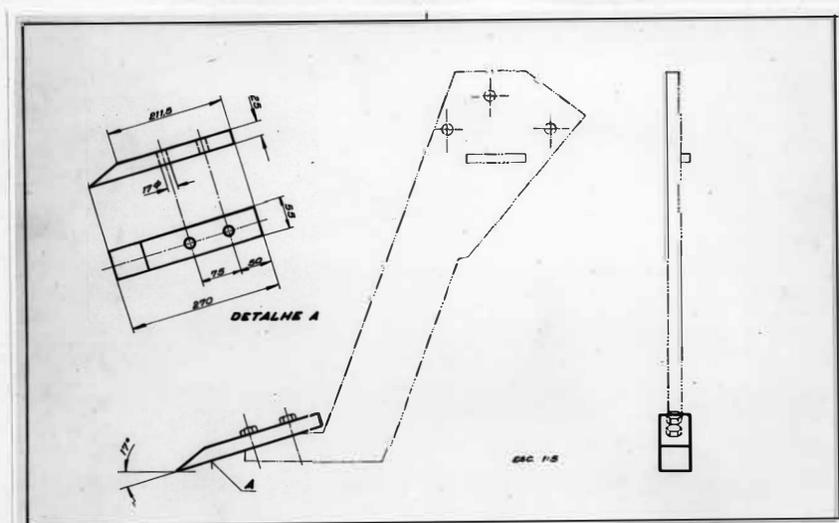


Figura 4. Coluna e bico do subsolador IMASA.

Nos quatro bicos empregados nos ensaios de campo, procedeu-se à determinação dos teores de carbono e manganês. O carbono foi determinado segundo o método P-MB-389 da A.B.N.T.(1968), e o manganês pelo método E 30 - 56 da A.S.T.M.(1964), sendo os dados mostrados na Tabela 1.4.

Tabela 1.4. Composição Química Percentual do Aço.

Elementos	Quantidade (%)
Carbono (C)	0,60
Manganês (Mn)	0,71

Os resultados da análise química, apresentados na Tabela 1.4., mostram que o material utilizado na fabricação dos bicos é um aço carbono hipoeutetóide de temperabilidade moderada. Pela sua composição, de acordo com as especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas, trata-se de um aço ABNT 1060, com teor de Mn no limite superior da faixa especificada para esses aços.

3.3. PREPARO DOS BICOS

Os bicos, numerados de 1 a 4, receberam os seguintes tratamentos térmicos:

<u>Nº do Bico</u>	<u>Tratamento Térmico</u>
1 e 3	Têmpera e Revenido
2 e 4	Normalização

A escolha desses tratamentos térmicos fundamenta-se nas seguintes hipóteses:

- a têmpera seguida de revenido constitui tratamento que poderá aumentar a resistência ao desgaste. Esse acréscimo de resistência se

deve a modificações que o tratamento provoca na microestrutura dos aços, aumentando-lhe a dureza;

- a normalização é um tratamento que dá ao aço estrutura semelhante àquelas que são normalmente encontradas nos aços laminados disponíveis no mercado.

Os tratamentos térmicos acima referidos foram realizados num forno elétrico, cujas especificações constam da Tabela 1.5., em atmosfera fortemente redutora. Para isso, introduziram-se em seu interior, juntamente com as peças a serem tratadas, 300 g de carvão vegetal moído.

Tabela 1.5. Especificação do Forno Elétrico Utilizado.

Marca	Poliforno
Temperatura máxima de operação	1.000°C
Subdivisão da escala de leitura	10-10°C
Voltagem	220 V
Amperagem	13 A

A têmpera foi realizada submetendo-se os bicos 1 e 3 a uma temperatura de 860°C por 30 minutos e, ao final desse tempo, mergulhando-os totalmente em água. Para reduzir as tensões provenientes da têmpera, as peças foram submetidas ao revenido, numa temperatura de 300°C durante 60 minutos, e esfriadas em água.

A normalização foi executada submetendo-se os bicos 2 e 4 à temperatura de 860°C por 30 minutos e, ao final desse tempo, esfriando-os ao ar.

Os bicos tratados são caracterizados pela dureza Rockwell e estrutura micrográfica. A dureza foi determinada em máquina marca Wilson, modelo J.R., segundo método E 18-65 da A.S.T.M.(1966), tanto nas peças normalizadas como nas temperadas e revenidas. Para isso, marcaram-se, em suas faces laterais e ao longo de seus eixos longitudinais, vinte e quatro pontos, dis-

tanciados de 5 mm, a partir da ponta de cada bico. Os resultados mostrados na Tabela 4.1., à página 25, são analisados estatisticamente segundo 5.1. A fim de melhor comparar as escalas RC e RB entre si, foram os dados de dureza Rockwell da Tabela 4.1. convertidos em valores Vickers, HV 50. Para isso se utilizou a Tabela de KEHL (1941).

O estudo micrográfico dos bicos tratados, executados segundo o método descrito por COLPAERT (1959), revelou:

- a existência de martensita revenida no corpo de prova, retirado a 8 mm da ponta do bico 1 e em sua face lateral, como podemos observar na Figura 5;
- a presença de perlita e ferrita no corpo de prova, retirado a 8 mm da ponta do bico 2, em sua face lateral, conforme mostra a Figura 6.

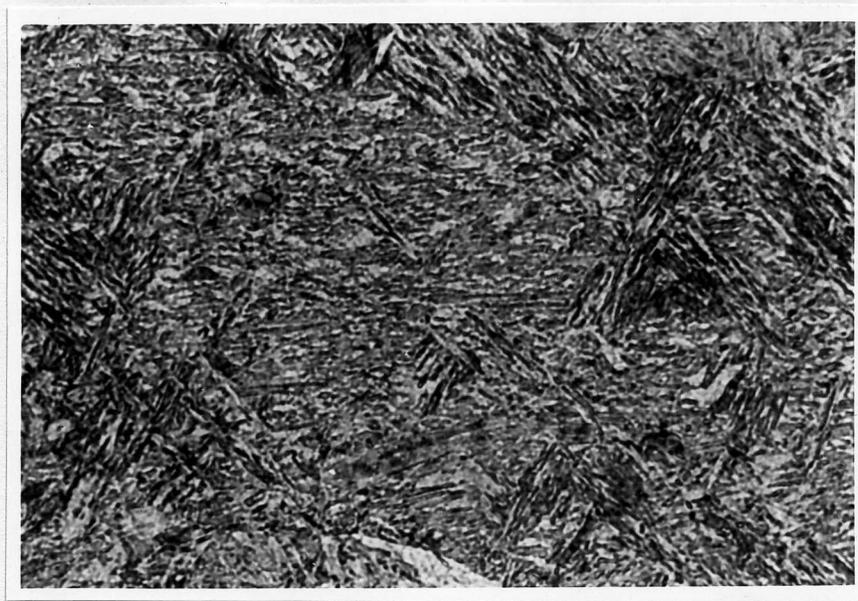


Figura 5. Micrografia da Peça Temperada e Revenida. Martensita revenida - 410 HV 0,1 - Estrutura de aço temperado e revenido. Ataque Nital 810 X.



Figura 6. Micrografia da Peça Normalizada. Perlita e pequenas áreas de Ferrita em contorno de grão - 230 HV 0,1 - Estrutura de aço normalizado. Ataque Nital 145 X.

3.4. ENSAIOS DE CAMPO

Para os ensaios de campo, realizados nos solos caracterizados no item 3.1., utilizou-se uma área de aproximadamente 6,1 ha, na série Sertãozinho e uma de 7,5 ha no Latossol Vermelho Amarelo-Orto. Em ambos os tipos de solo o subsolador foi regulado de maneira que seus órgãos ativos trabalhassem a 0,25 m de profundidade.

3.4.1. Ensaio na Série Sertãozinho

Neste solo utilizaram-se os bicos de números 1 e 2. O desgaste foi quantificado pela perda de peso dos bicos, determinada em seis períodos consecutivos, a saber: 0 - 3 h 30 min; 3 h 30 min - 5 h 30 min; 5 h 30 min - 8 h; 8 h - 10 h; 10 h - 12 h 30 min; 12 h 30 min - 15 h.

Os órgãos ativos, após cada período, eram retirados da coluna do subsolador, lavados, secos e pesados. Após cada pesagem, visando-se evitar o efeito de posição no desgaste dos bicos, eles eram trocados de uma coluna para outra.

Para melhor aproveitamento da área, intercalaram-se os sulcos entre as passadas consecutivas, resultando num espaçamento entre sulcos, medido no terreno, de aproximadamente 0,85 m.

A velocidade de trabalho foi obtida cronometrando-se o tempo gasto pela máquina para percorrer uma distância de 100 metros, realizando-se 10 determinações no decorrer de cada período. Também, em cada período, para as determinações da umidade natural, foram retiradas 6 amostras de solo no fundo do sulco, imediatamente após a passagem do bico.

Para tracionar o subsolador empregou-se um trator marca CBT, modelo 1020, em terceira marcha.

3.4.2. Ensaio no Latossol Vermelho Amarelo-Orto

A fim de acamar a vegetação e facilitar a penetração das peças ativas, efetuou-se, antes dos ensaios, uma gradagem da área a ser trabalhada. Neste solo foram utilizados os bicos de números 3 e 4, adotando-se a mesma técnica de pesagem e montagem usada na série Sertãozinho, em seis períodos: 0 - 3 h; 3 h - 6 h; 6 h - 8 h; 8 h - 10 h; 10 h - 12 h 30 min; 12 h 30 min - 15 h.

O espaçamento entre sulcos, obtido segundo o mesmo procedimento adotado para a série Sertãozinho, foi de aproximadamente 1,00 m.

Para as determinações de velocidade de trabalho e umidade natural do solo, adotou-se a mesma técnica empregada para os ensaios na série Sertãozinho.

Na tração do subsolador empregaram-se os tratores e

marchas indicados na Tabela 4.2. à página 28.

Uma vez concluídos os ensaios de campo, foram retirados corpos de prova na ponta dos bicos, nos quais se procedeu o estudo micrográfico, segundo o método descrito por COLPAERT (1959). Os resultados obtidos são mostrados nas Figuras 7 e 8, do capítulo 4.

3.4.3. Material e Método de Análise dos Resultados

Os dados da Tabela 4.2., referentes ao tempo e velocidade de trabalho, serão analisados em termos de espaço percorrido, e a perda de peso, expressa em percentagem do peso inicial, dará o valor do desgaste.

A análise matemática dos dados obtidos nos ensaios de campo envolve a correção de dados de desgaste, utilizando-se o método dos Quadrados Mínimos, a partir do seguinte modelo matemático:

$$D_{ij} = m + S_j + P_i + l + u + e_{ij} \quad (1)$$

D_{ij} = desgaste referente a peça i no solo j

m = desgaste médio

l = distância percorrida

u = umidade

e_{ij} = desvio do modelo matemático

A partir dos dados de desgaste obtidos nos ensaios de campo e do modelo matemático da equação (1), são montadas as matrizes X e Y , resolvendo-se a equação matricial:

$$X' XB = X' Y \quad (2)$$

Na resolução empregou-se o Computador Eletrônico IBM-1130, da Cadeira de Matemática e Estatística da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - U.S.P.

4. RESULTADOS OBTIDOS

No desenvolvimento do presente trabalho, os resultados obtidos abrangem: os provenientes dos ensaios de dureza dos bicos submetidos aos tratamentos térmicos e os da perda de peso dos órgãos ativos, nos ensaios de campo, executados segundo os métodos descritos em 3.3. e 3.4., respectivamente. São ainda considerados os do estudo da microestrutura dos bicos desgastados após o término dos ensaios de campo.

4.1. DUREZA DOS BICOS

Os resultados obtidos nos ensaios de dureza dos bicos são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Valores de Dureza para os Bicos 1, 2, 3 e 4, obtidos segundo os métodos descritos em 3.3, à página 18.

Localização dos pontos de dureza(1)	Valores de Dureza											
	Bico 1			Bico 3			Bico 2			Bico 4		
	Rockwell C	Vickers HV 50	Rockwell C	Vickers HV 50	Rockwell B	Vickers HV 50						
5	48	484	48	484	95	484	95	484	95	220	95	220
10	47	471	47	471	95	471	95	471	95	220	95	220
15	47	471	46	458	95	458	95	458	95	220	95	220
20	46	458	46	458	95	458	95	458	95	220	95	220
25	46	458	45	446	94	446	94	446	94	214	94	214
30	45	446	45	446	94	446	94	446	94	214	94	214
35	45	446	44	434	94	434	94	434	94	214	94	214
40	44	434	44	434	94	434	94	434	94	214	94	214
45	43	423	44	434	93	434	93	423	93	212	93	212
50	43	423	43	423	93	423	93	423	93	212	93	212
55	43	423	43	423	93	423	93	423	93	212	93	212
60	42	412	43	423	93	423	93	423	93	212	93	212
65	42	412	42	412	93	412	93	412	93	212	93	212
70	42	412	42	412	93	412	93	412	93	212	93	212
75	42	412	42	412	92	412	92	412	92	203	92	203
80	41	402	42	412	92	402	92	402	92	203	92	203
85	41	402	41	402	92	402	92	402	92	203	92	203
90	41	402	41	402	92	402	92	402	92	203	92	203
95	40	392	40	392	91	392	91	392	91	198	91	198
100	38	372	38	372	91	372	91	372	91	198	91	198
105	37	363	37	363	91	363	91	363	91	198	91	198
110	36	354	36	354	91	354	91	354	91	198	91	198
115	34	336	34	336	90	336	90	336	90	192	90	192
120	34	336	34	336	90	336	90	336	90	192	90	192

(1) Distância, em mm, do ponto onde a dureza foi determinada à ponta do bico, antes dos ensaios de campo.

4.2. PERDA DE PÊSO DOS BICOS

Os dados de perda de peso dos bicos bem como os das variáveis consideradas nos ensaios de campo, constam da Tabela 4.2. à página 28.

4.3. MICROESTRUTURA DOS BICOS

A estrutura micrográfica dos bicos que foram submetidos à têmpera, seguida de revenido e normalização, obtida após os ensaios de campo, é mostrada nas Figuras 7 e 8 respectivamente.

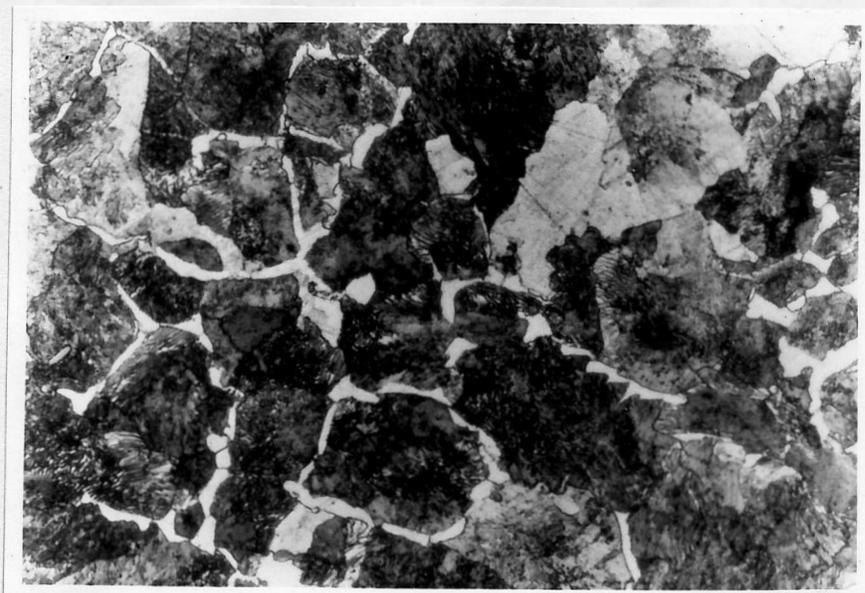


Figura 7. Micrografia da Peça Temperada e Revenida após os ensaios de campo. Região do núcleo: Perlita e áreas de Ferrita em contorno de grão - 220 HV 0,1 - Estrutura de aço normalizado. Ataque Nital 810 X.



Figura 8. Micrografia da Peça Normalizada após os ensaios de campo. Perlita e áreas de Ferrita em contôrno de grão - 230 HV 0,1 - Estrutura de aço normalizada. Ataque Nital 145 X.

Tabela 4.2. Valores relativos ao peso dos bicos, tipo de solo, período de trabalho e condições operacionais.

Nº do Bico	Solo		Período de Trabalho		Espaço Percorrido (km)	Peso do Bico (kg)		Condições		Operacionais	
	Tipo	Umidade (%)	Intervalo (minutos)	Tempo		Inici. (Pi)	Final (Pf)	Perda (Pi-Pf)	Trator		Marcha
1	SÉRIE	6,73	0-210	3h30min	16,80	2,185	2,146	0,039	CBT 1020	3ª	4,80
			210-330	5h30min	26,40	2,185	2,110	0,075			
		5,70	330-480	8h	38,40	2,185	2,066	0,119			
			480-600	10h	48,00	2,185	2,035	0,150			
		12,00	600-750	12h30min	60,00	2,185	2,025	0,160			
			750-900	15h	72,00	2,185	2,016	0,169			
2	SERTÃOZINHO	6,73	0-210	3h30min	16,80	2,481	2,424	0,057	CBT 1020	3ª	4,80
			210-330	5h30min	26,40	2,481	2,370	0,111			
		5,70	330-480	8h	38,40	2,481	2,308	0,173			
			480-600	10h	48,00	2,481	2,264	0,217			
		12,00	600-750	12h30min	60,00	2,481	2,247	0,234			
			750-900	15h	72,00	2,481	2,234	0,247			
3	LATOSOL	9,8	0-180	3h	13,59	2,240	2,140	0,100	DEUTZ DM55	3ª e 2ª	4,53
			180-360	6h	27,18	2,240	2,112	0,128			
		10,2	360-480	8h	32,24	2,240	2,060	0,128	FIAT 70 CI	3ª	4,03
			480-600	10h	40,30	2,240	2,032	0,208			
		9,4	600-750	12h30min	77,86	2,240	1,895	0,345	CBT 1020	4ª	6,23
			750-900	15h	81,15	2,240	1,835	0,405			
		9,6	0-180	3h	13,59	2,420	2,310	0,110	DEUTZ DM55	3ª e 2ª	4,53
			180-360	6h	27,18	2,420	2,230	0,190			
4	AMARELO/ORTO	10,2	360-480	8h	32,24	2,420	2,183	0,237	FIAT 70 CI	3ª	4,03
			480-600	10h	40,30	2,420	2,142	0,278			
		9,4	600-750	12h30min	77,86	2,420	1,995	0,425	CBT 1020	4ª	6,23
			750-900	15h	81,15	2,420	1,900	0,520			
		9,6	0-180	3h	13,59	2,420	2,310	0,110	DEUTZ DM55	3ª e 2ª	4,53
			180-360	6h	27,18	2,420	2,230	0,190			
		10,2	360-480	8h	32,24	2,420	2,183	0,237	FIAT 70 CI	3ª	4,03
			480-600	10h	40,30	2,420	2,142	0,278			
		9,4	600-750	12h30min	77,86	2,420	1,995	0,425	CBT 1020	4ª	6,23
			750-900	15h	81,15	2,420	1,900	0,520			
		9,6	0-180	3h	13,59	2,420	2,310	0,110	DEUTZ DM55	3ª e 2ª	4,53
			180-360	6h	27,18	2,420	2,230	0,190			
		10,2	360-480	8h	32,24	2,420	2,183	0,237	FIAT 70 CI	3ª	4,03
			480-600	10h	40,30	2,420	2,142	0,278			
		9,4	600-750	12h30min	77,86	2,420	1,995	0,425	CBT 1020	4ª	6,23
			750-900	15h	81,15	2,420	1,900	0,520			

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Tendo-se em vista o objetivo d'êste trabalho, tornou-se necessário que o tratamento térmico dos bicos do subsolador forneça, em cada tratamento, dois órgãos ativos com características iguais quanto à dureza, para trabalho nos dois tipos de solo considerados.

Portanto, inicialmente serão analisados e discutidos, os dados de dureza e sua distribuição nos bicos e, posteriormente, os dados de desgaste das peças ativas, frente às condições de ensaios de campo nos dois tipos de solo. Finalmente, serão consideradas as variações de dureza e microestrutura do metal, decorrentes da ação abrasiva do solo.

5.1. DUREZA DOS BICOS E TRATAMENTO TÉRMICO

Os dados de dureza dos bicos tratados, apresentados na Tabela 4.1., foram submetidos à Análise de Regressão, sendo a dureza considerada variável dependente e a localização dos pontos de dureza, em termos de distância em milímetros do ponto de determinação à ponta do bico, variável independente. Dessa análise resultou:

a) para o bico 1, a seguinte análise de variância:

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.
R.Linear	1	331,60	331,60 ^(**)
Desvios	22	23,36	1,06
Total	23	354,96	

Obs.: A significância para 5% e 1% de probabilidade para o teste F é indicada, respectivamente, por um (*) e dois (**) asteriscos.

Conforme se observa pela análise de variância, houve um efeito significativo da regressão linear para os dados analisados. A equação de regressão é a seguinte:

$$\hat{Y} = 48,60 - 0,1074 X \quad (3)$$

b) para o bico 3, obteve-se a seguinte análise de variância:

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.
R.Linear	1	321,30	321,30 ^(**)
Desvios	22	28,70	1,20
Total	23	350,00	

Obs.: A significância para 5% e 1% de probabilidade para o teste F é indicada, respectivamente, por um (*) e dois (**) asteriscos.

Conforme se observa pela análise de variância, houve um efeito significativo da regressão linear para os dados analisados. A equação de regressão é a seguinte:

$$\hat{Y} = 48,60 - 0,1057 X \quad (4)$$

c) para o bico 2, obteve-se a seguinte análise de variância:

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.
R.Linear	1	56,60	56,50 ^(**)
Desvios	22	3,50	0,159
Total	23	60,10	

Obs.: A significância para 5% e 1% de probabilidade para o teste F é indicada, respectivamente, por um (*) e dois (**) asteriscos.

Conforme se observa pela análise de variância, houve efeito significativo da regressão linear para os dados analisados. A equação de regressão é a seguinte:

$$\hat{Y} = 95,56 - 0,0443 X \quad (5)$$

d) para o bico 4, obteve-se a seguinte análise de variância:

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.
R.Linear	1	55,18	55,18 ^(**)
Desvios	22	2,82	0,128
Total	23	58,00	

Obs.: A significância para 5% e 1% de probabilidade para o teste F é indicada, respectivamente, por um (*) e dois (**) asteriscos.

Conforme se observa pela análise de variância, houve um efeito significativo da regressão linear para os dados analisados. A equação de regressão é a seguinte:

$$\hat{Y} = 95,64 - 0,0438 X \quad (6)$$

A regressão linear sendo altamente significativa em todos os bicos, a tendência na distribuição de dureza ao longo dos bicos e a comparação de dureza entre eles são caracterizadas pelos parâmetros \hat{b} e \hat{a} respectivamente.

Para verificar se há diferença de dureza entre os bicos 1 e 3, que receberam o mesmo tratamento térmico (têmpera seguida de revenido), efetuou-se o teste "t", obtendo-se os seguintes resultados:

$$\hat{V}(\hat{b})_1 = \frac{1,06}{28750} = 0,0000368$$

$$\hat{V}(\hat{b})_3 = \frac{1,20}{28750} = 0,0000417$$

$$t = \frac{0,1074 - 0,1057}{\sqrt{0,0000368 + 0,0000417}} = 0,19 \text{ n.s.}$$

$$\hat{V}(\hat{a})_1 = \frac{1}{24} + \frac{62,50}{28750} 1,06 = 0,04647$$

$$\hat{V}(\hat{a})_3 = \frac{1}{24} + \frac{62,50}{28750} 1,20 = 0,05266$$

$$t = \frac{48,60 - 48,60}{\sqrt{0,04647 + 0,05266}} = 0$$

Dos parâmetros \hat{b} e \hat{a} , não significativos, conclui-se que as equações não podem ser consideradas diferentes, aos níveis de probabilidade correntes (5% e 1%).

A partir dos dados da Tabela 4.1, através das equações (3) e (4), foram elaborados os gráficos mostrados na Figura 9, à página 33.

Para os bicos 2 e 4, que foram normalizados, aplicou-se o teste "t", a fim de verificar se não diferem entre si, ob

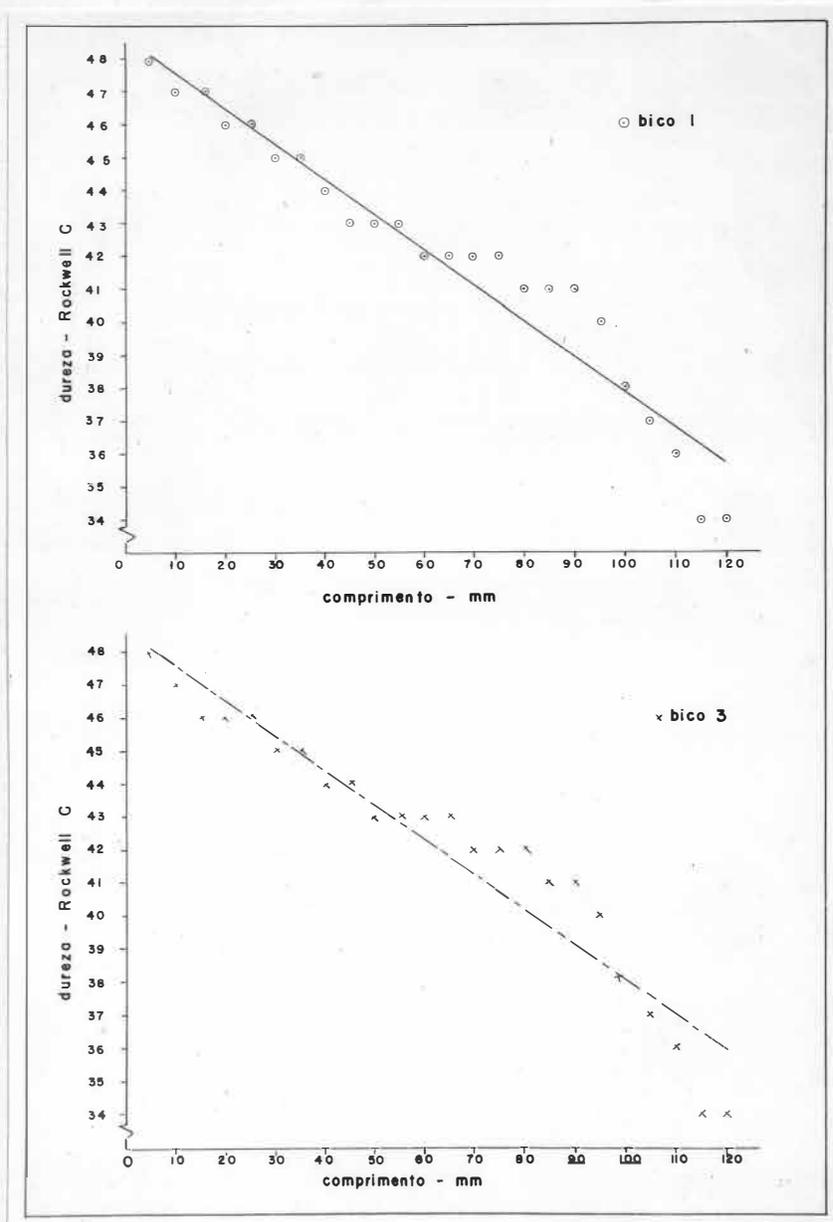


Figura 9. Valores de dureza Rockwell C ao longo do comprimento dos bicos 1 e 3, a partir de suas pontas. Equações de regressão: a) bico 1, $\hat{Y} = 48,60 - 0,1074 X$; b) bico 3, $\hat{Y} = 48,60 - 0,1057 X$.

tendo-se os seguintes resultados:

$$\hat{V}(\hat{b})_2 = \frac{0,159}{28750} = 0,0000055$$

$$\hat{V}(\hat{b})_4 = \frac{0,128}{28750} = 0,0000044$$

$$t = \frac{0,0438 - 0,0443}{\sqrt{0,0000044 + 0,0000055}} = 0,15 \text{ n.s.}$$

$$\hat{V}(\hat{a})_2 = \left(\frac{1}{24} + \frac{62,65}{28750} \right) 0,159 = 0,00697$$

$$\hat{V}(\hat{a})_4 = \left(\frac{1}{24} + \frac{62,65}{28750} \right) 0,128 = 0,00561$$

$$t = \frac{95,64 - 95,56}{\sqrt{0,00697 - 0,00561}} = 0,71 \text{ n.s.}$$

Dos parâmetros \hat{b} e \hat{a} , não significativos conclui-se que as equações não podem ser consideradas diferentes, sugerindo que os bicos 2 e 4 não discrepam, tanto na distribuição de dureza ao longo de cada órgão ativo, como na comparação de dureza, à mesma distância de suas pontas.

Utilizando-se dos dados da Tabela 4.1., através das equações (5) e (6), originaram-se os gráficos mostrados na Figura 10 à página 35.

A análise estatística dos dados de dureza dos órgãos ativos indica que os bicos submetidos ao mesmo tratamento térmico são iguais quanto à dureza. Face a essa identidade, conclui-se que os bicos com mesmo tratamento térmico poderão ser utili-

zados em solos diferentes e os resultados de desgaste obtidos, podem ser comparados entre si.

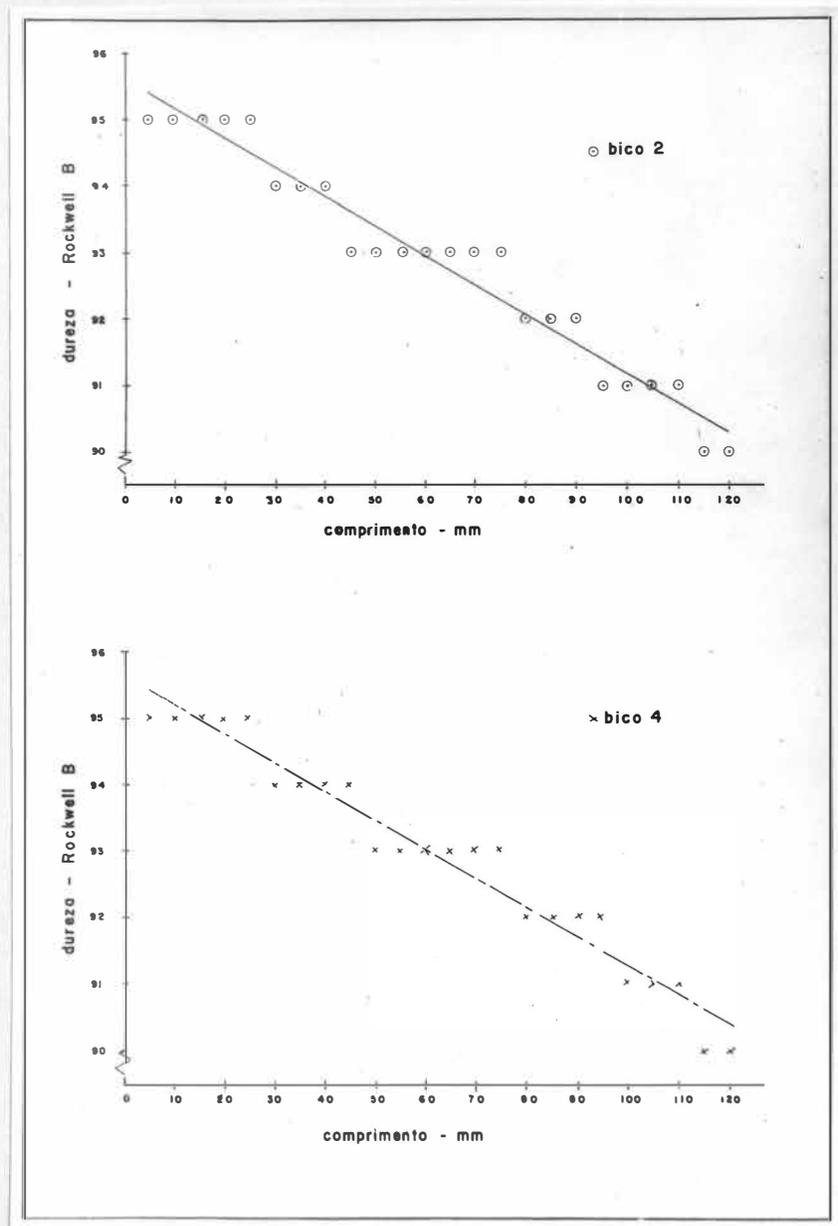


Figura 10. Valores de dureza Rockwell B ao longo do comprimento dos bicos 2 e 4, a partir de suas pontas. Equações de regressão: a) bico 2, $\hat{Y} = 95,56 - 0,0443 X$; b) bico 4, $\hat{Y} = 95,64 - 0,0438 X$.

5.2. DESGASTE DOS BICOS E ENSAIOS DE CAMPO

Os dados de campo, mostrados na Tabela 4.2., e convertidos dos segundo o descrito em 3.4.3., são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Dados do Tipo de Solo, suas Umidades, Espaços Percorridos, e Desgaste expresso em percentagem de perda de peso inicial.

Número do bico	Solos Utilizados Tipo	Umidade (%)	Espaço percorrido (km)	Desgaste (%)	
				$\frac{P_i - P_f}{P_i}$	100
1	Série	6,73	16,80	1,78	
			26,40	3,43	
		5,70	38,40	5,44	
			48,00	6,86	
		12,00	60,00	7,32	
			72,00	7,73	
2	Sertãozinho	6,73	16,80	2,29	
			26,40	4,46	
		5,70	38,40	6,97	
			48,00	8,74	
		12,00	60,00	9,43	
			72,00	9,95	
3	Latossol Vermelho Amarelo-Orto	9,80	13,59	4,46	
			27,18	5,71	
		10,20	32,24	8,03	
			40,30	9,28	
		9,40	77,86	15,40	
		9,60	81,15	18,08	
4		9,80	13,59	4,50	
			27,18	7,85	
		10,20	32,24	9,79	
			40,30	11,48	
		9,40	77,86	17,56	
		9,60	81,15	21,48	

A partir dos dados da Tabela 5.1., elaboraram-se os gráficos das Figuras 11 e 12.

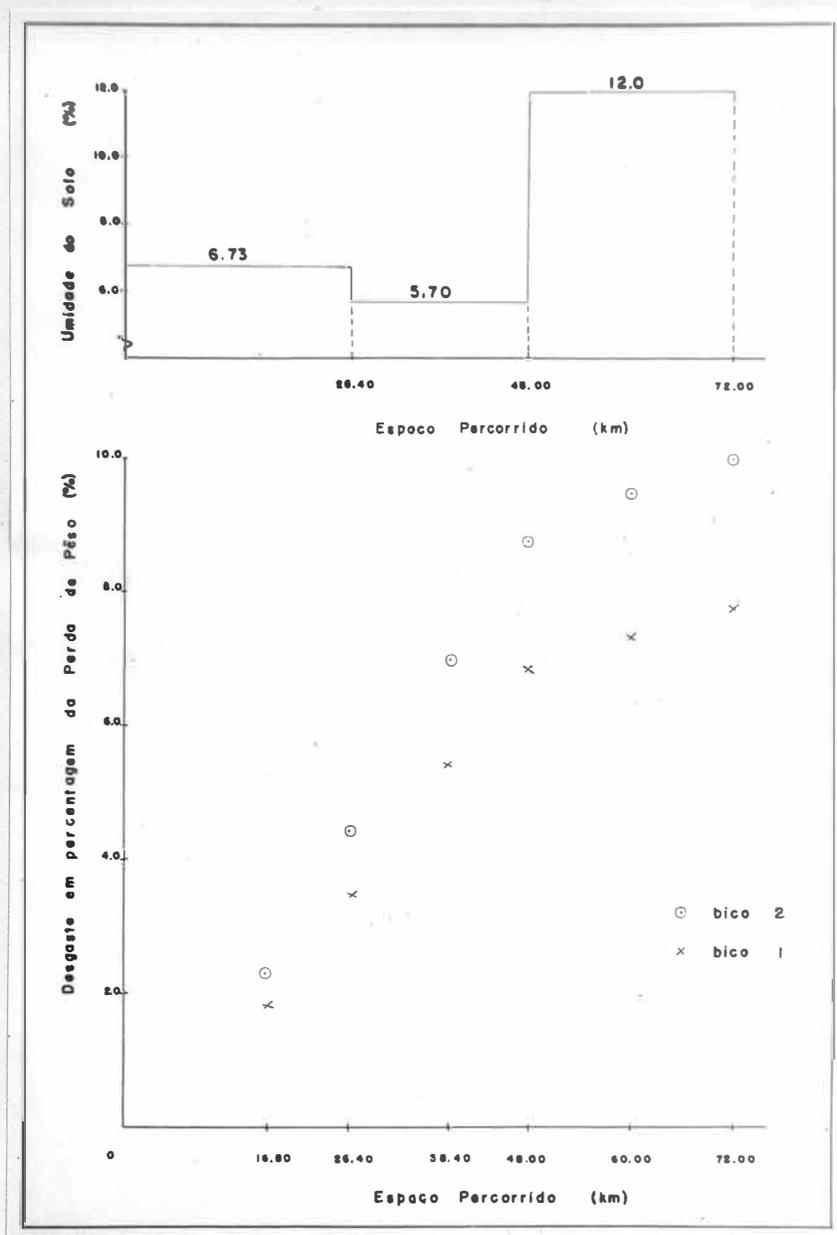


Figura 11. Variação da umidade do solo e desgaste observado para os bicos 1 e 2, em função do espaço percorrido, na série Sertãozinho.

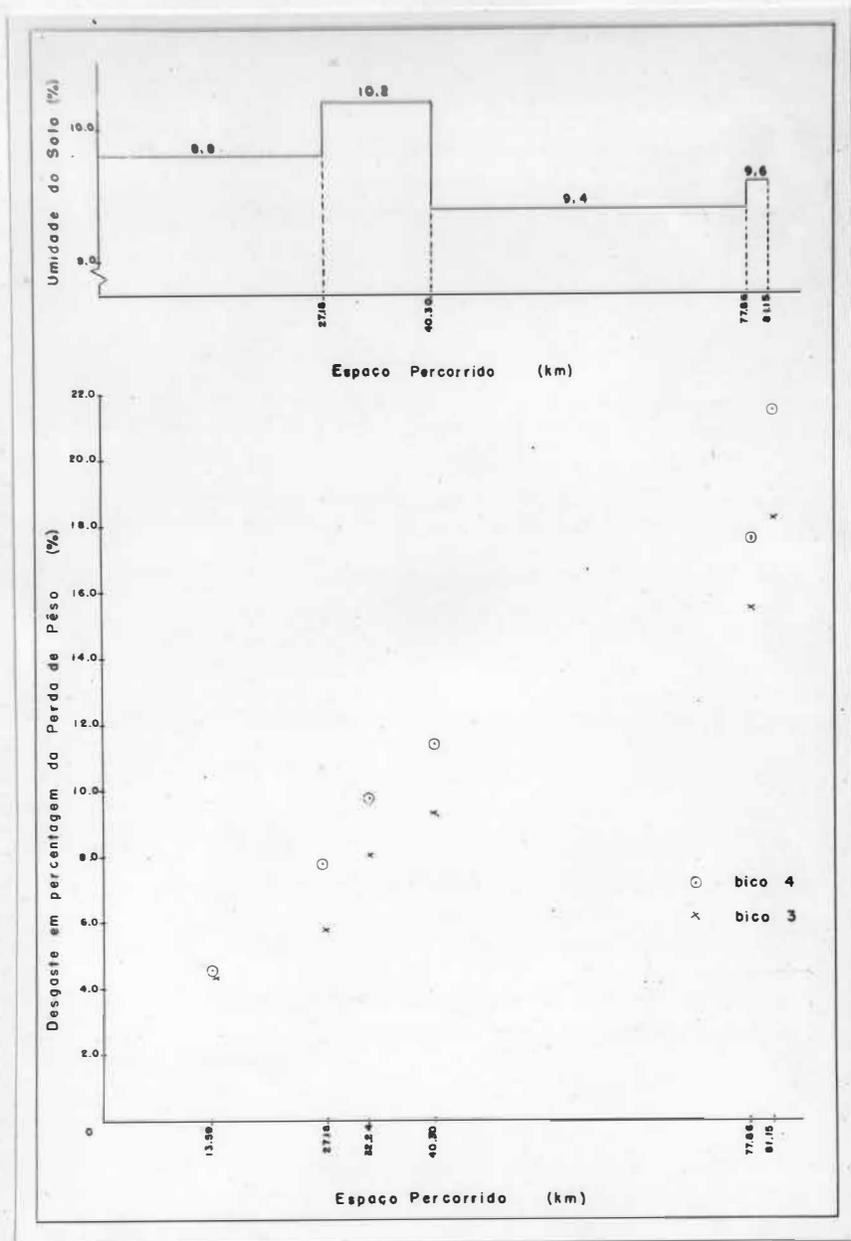


Figura 12. Variação da umidade do solo e desgaste observado para os bicos 3 e 4, em função do espaço percorrido, no Latossol Vermelho Amarelo-Orto.

O gráfico da Figura 11 sugere uma diferença de comportamento para os desgastes observados nos bicos 1 e 2, na série Sertãozinho, aparentando ser menor para o bico 1. O da Figura 12 parece indicar uma diferença de comportamento para os bicos 3 e 4, no Latossol Vermelho Amarelo-Orto, sugerindo menor desgaste para o bico 3. Entretanto, juntamente com as variações de desgaste nos bicos, ocorreram variações tanto nos teores de umidade como nos espaços percorridos, em ambos os tipos de solos. Por essa razão, foi executada uma correção dos dados de desgaste, como descrito em 3.4.3, obtendo-se a seguinte equação:

$$\hat{D}_{ij} = 4,31 - 2,70 S_1 + 2,70 S_2 + 0,87 P_{2,4} - 0,87 P_{1,3} + 0,20 l - 0,50 u \quad (7)$$

Levando-se em conta a equação (7), os desgastes dos bicos 1 e 2, na série Sertãozinho, são expressos respectivamente pelas equações:

$$\hat{D}_{ij} = 4,31 - 2,70 - 0,87 + 0,20 l - 0,50 u \quad (8)$$

$$\hat{D}_{ij} = 4,31 - 2,70 + 0,87 + 0,20 l - 0,50 u \quad (9)$$

Reunindo-se as constantes das equações (8) e (9) resulta:

$$\hat{D}_{ij} = 0,74 + 0,20 l - 0,50 u \quad (10)$$

$$\hat{D}_{ij} = 2,48 + 0,20 l - 0,50 u \quad (11)$$

No Latossol Vermelho Amarelo-Orto, as equações do desgaste para os bicos 3 e 4 são, respectivamente:

$$\hat{D}_{ij} = 4,31 + 2,70 - 0,87 + 0,20 l - 0,50 u \quad (12)$$

$$\hat{D}_{ij} = 4,31 + 2,70 + 0,87 + 0,20 l - 0,50 u \quad (13)$$

que também poderão ser expressas como:

$$\hat{D}_{ij} = 6,14 + 0,20 l - 0,50 u \quad (14)$$

$$\hat{D}_{ij} = 7,88 + 0,20 l - 0,50 u \quad (15)$$

Com base nas equações (10), (11), (14) e (15), ajustaram-se os dados do desgaste, constantes da Tabela 5.1, e se traçaram os gráficos apresentados nas Figuras 13 e 14.

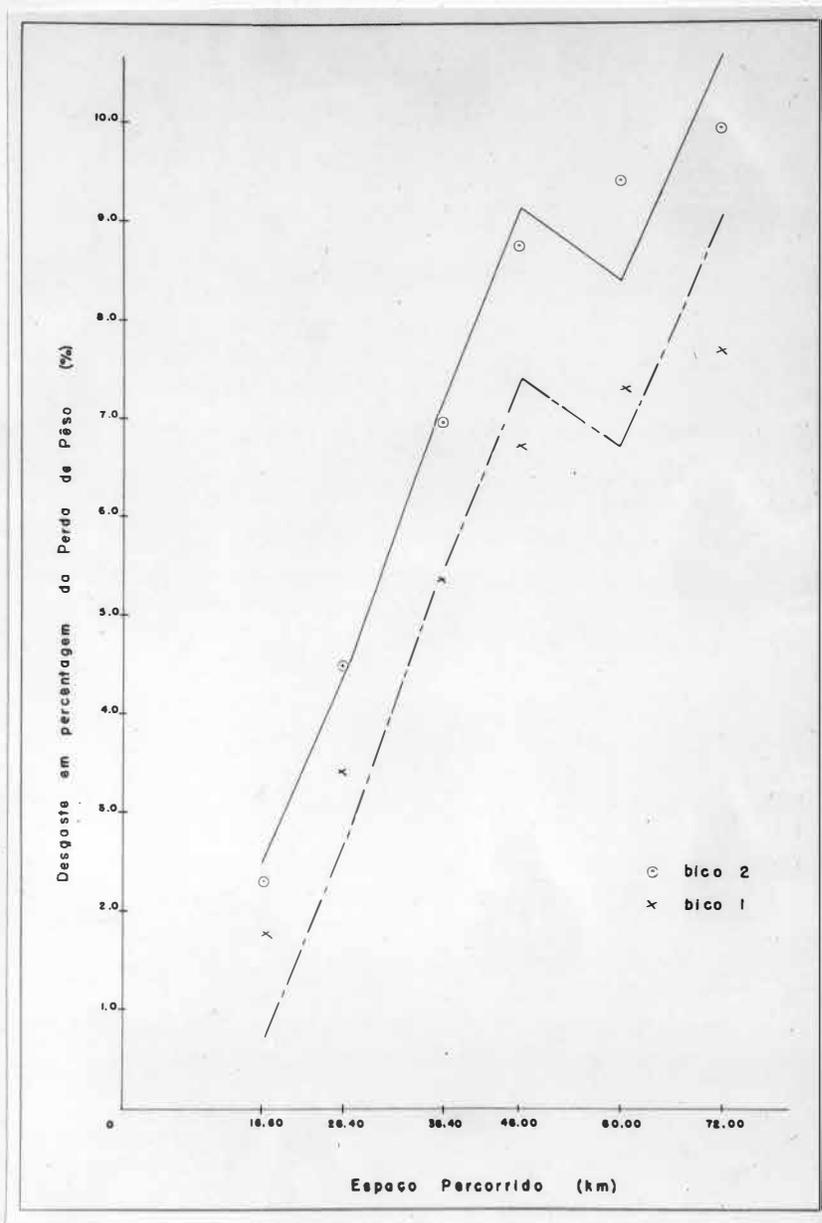


Figura 13. Desgaste corrigido dos bicos 1 e 2, em função do espaço percorrido, na série Sertãozinho. Equações de correção: a) bico 1, $D_{ij} = 0,74 + 0,20 l - 0,50 u$; b) bico 2, $D_{ij} = 2,48 + 0,20 l - 0,50 u$

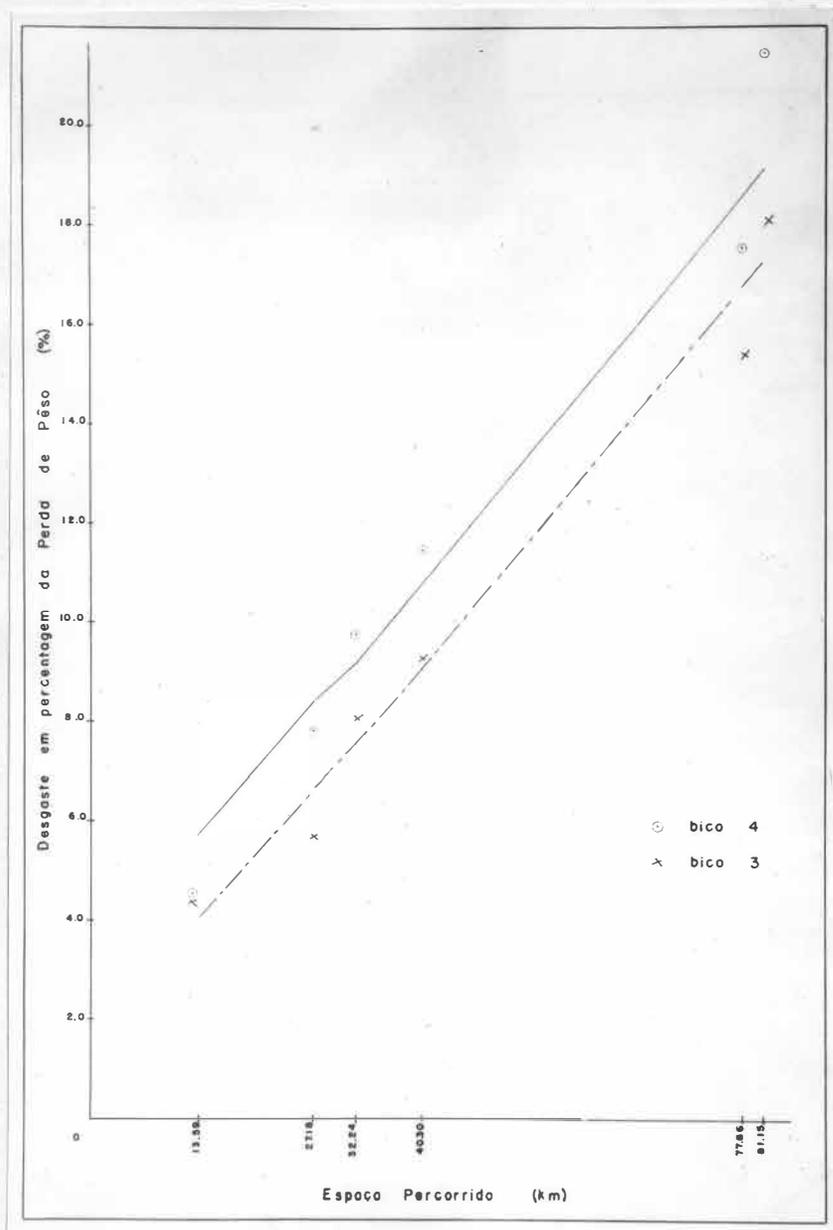


Figura 14. Desgaste corrigido dos bicos 3 e 4, em função do espaço percorrido, no Latossol Vermelho Amarelo-Orto. Equações de correção: a) bico 3, $\hat{D}_{ij} = 6,14 + 0,20 l - 0,50u$; b) bico 4, $\hat{D}_{ij} = 7,88 + 0,20 l - 0,50 u$.

Com os valores de desgaste dos bicos, depois de ajustados pelas equações (10), (11), (14) e (15), para os dois tipos de solo, foi feito o gráfico da Figura 15.

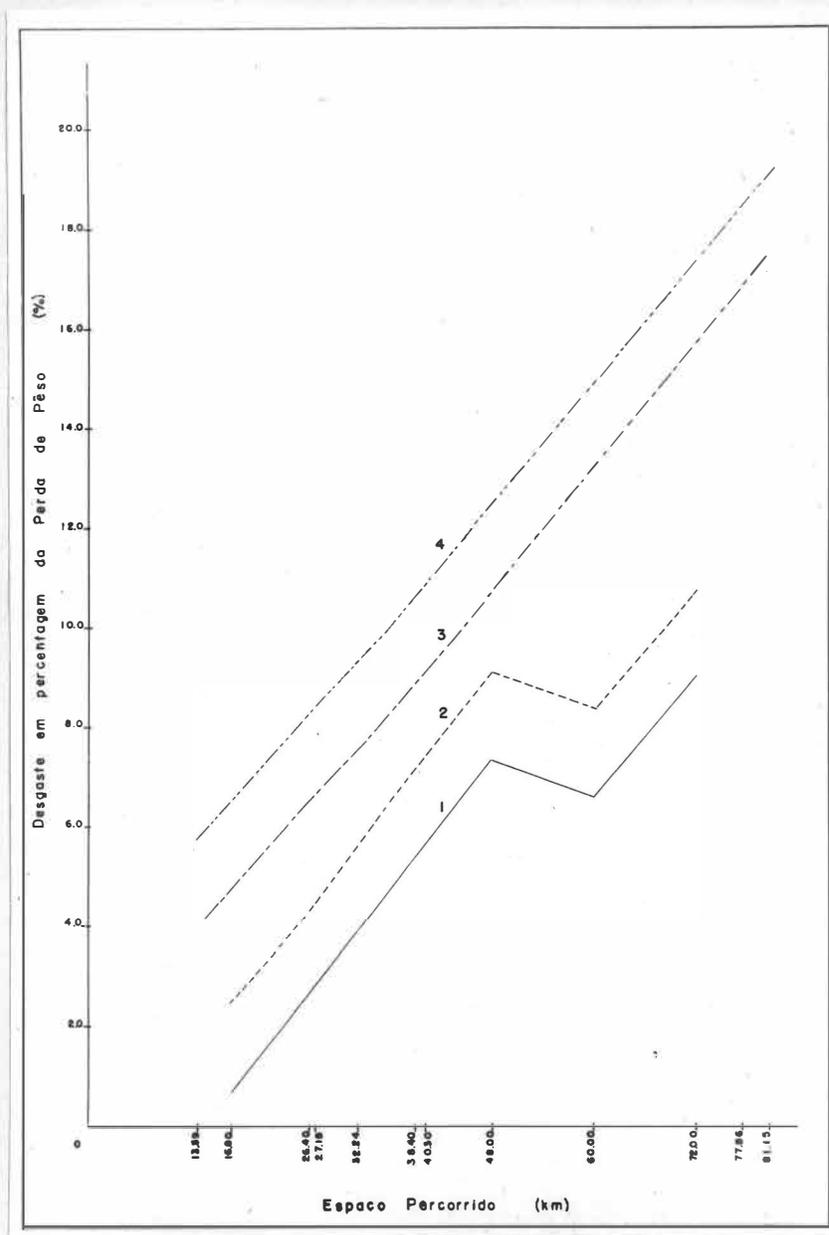


Figura 15. Desgaste corrigido para os bicos 1, 2, 3 e 4, em função do espaço percorrido, em ambos os tipos de solos utilizados.

As equações (10) e (11), comparadas com (14) e (15), sugerem uma diferença do desgaste provocado pelos dois tipos de solo e que poderá ser visualizada através do gráfico da Figura 15.

Essa diferença de comportamento pode ser explicada através das características apresentadas pelos solos utilizados no presente trabalho e que são confirmadas pelas indicações fornecidas na revisão bibliográfica.

A análise mecânica mostra na série Sertãozinho a inexistência de esqueleto de terra, enquanto que no Latossol Vermelho Amarelo-Orto esse esqueleto se revela ao nível de 81%. Por outro lado, verifica-se que a fração areia, dominante na série Sertãozinho, é a areia fina, cujas dimensões são menores que as da areia média, dominante no Latossol Vermelho Amarelo-Orto.

A maior perda de peso dos bicos 3 e 4, utilizados no Latossol Vermelho Amarelo-Orto, sugerem um efeito da textura do solo no processo de desgaste por abrasão, confirmando as indicações de GILL & VANDEN BERG (1967).

Os resultados da análise mineralógica e da dureza dos componentes dos solos - mostrados nas Tabelas 1.2. e 1.3., respectivamente - evidenciam que solos com predominância de componentes mais duros provocam maior desgaste.

Sobre o arredondamento das partículas dos solos utilizados neste trabalho - caracterizado pelo quadro de KRUMBEIN (1941), e mostrado nas Figuras 1 e 2 - verifica-se que o desgaste é menor com o aumento do arredondamento.

A ação da umidade dos solos no desgaste dos bicos pode ser observada através das Figuras 11 e 13 e da equação (7). A relação negativa e a proporcionalidade linear entre o desgaste e a umidade (u), apresentada na equação (7), parecem confirmar as observações citadas por GILL & VANDEN BERG (1967), onde se prevê o efeito da adesão como um dos parâmetros importantes da força de atrito entre dois corpos de natureza diferente. Apesar da complexidade envolvida nessas considerações, elas sugerem que a diminuição do desgaste, em decorrência do aumento da umidade, parece ser proveniente da conseqüente redução da força de adesão

entre os bicos e o solo.

O efeito do tempo e da velocidade de trabalho - expressos em termos de espaço percorrido - pode ser observado através da equação (7) e do gráfico da Figura 15. Esses resultados confirmam as citações de BORGHEI (1968), e mostram uma relação positiva e uma proporcionalidade linear entre desgaste e espaço percorrido.

5.3. DESGASTE DOS BICOS E CARACTERÍSTICAS DO METAL

Segundo as condições que determinam os tipos de desgaste por abrasão indicados por AVERY, citado por BORGHEI (1968), os bicos utilizados no presente trabalho foram submetidos, principalmente, à abrasão sob fraca pressão.

A equação (10), comparada com a equação (11), e a (14), comparada com a (15), sugerem que, para um mesmo tipo de solo, houve diferença de comportamento dos bicos quanto ao desgaste. Isso pode ser visualizado através dos gráficos das Figuras 13 e 14.

Esses resultados mostram que o menor desgaste, produzido pelos dois tipos de solo, se verifica nos bicos temperados e revenidos. Nos bicos normalizados, o desgaste foi sempre maior, o que sugere influência da microestrutura e da dureza. Os bicos temperados e revenidos, isto é, os bicos 1 e 3 apresentaram uma dureza variando de 34 a 48 RC (336 a 484 HV 50). A sua microestrutura, após o tratamento térmico e antes dos ensaios de campo, era formada de martensita revenida. O estudo da microestrutura, após os ensaios de campo, revelou a presença de perlita e ferrita, sendo a martensita consumida pelo desgaste. Por outro lado, os bicos normalizados, isto é, os bicos 2 e 4, apresentaram uma dureza variando de 90 a 95 RB (192 a 220 HV 50), e microestrutura formada de perlita e ferrita. Logo, as estruturas micrográficas, ao final dos ensaios de campo, se

tornaram equivalentes.

Considerando-se a definição de "taxa de desgaste", - proposta por BORGHEI (1968), e segundo os dados da Tabela 5.1., para a série Sertãozinho e para o Latossol Vermelho Amarelo-Orto, os valores da taxa de desgaste são mostrados na Tabela 5.2..

Tabela 5.2. Taxas de Desgaste dos Bicos.

Nº do bico	Solo	Taxa de desgaste (gf/km)
1	Série Sertãozinho	2,34
2	Série Sertãozinho	3,43
3	Latossol Verm. Amarelo-Orto	4,99
4	Latossol Verm. Amarelo-Orto	6,46

Através da taxa de desgaste, fornecida pela Tabela 5.2., observa-se que o bico 2 desgastou-se 1,46 vezes mais que o bico 1. Por outro lado, as taxas de desgaste indicam que o bico 4 apresentou um desgaste 1,29 vezes maior que o bico 3.

Verifica-se, através da revisão bibliográfica, certa divergência entre os autores KHRUSHCHOV & BABICHEV (1956), (1968), VELIKANOVA (1962), MOHSENIN et al. (1956), NOVITSKAIA (1959), no que diz respeito à importância da dureza no processo abrasivo e sua relação com a microestrutura. Para as condições do presente trabalho, os dados obtidos sugerem, entretanto, ser a dureza efetivamente importante no estudo da resistência ao desgaste por abrasão. Devem ser, porém, consideradas a dureza de cada fase e a morfologia da estrutura. O valor da dureza, medido pelas técnicas usuais, salvo uma completa homogeneidade da estrutura, representa uma média entre as durezas das diversas fases. Tecnicamente, os materiais raramente são constituídos de uma única fase; quando existem duas fases num material submetido à abrasão, a mais mole atua apenas como su-

porte, ao passo que a mais dura resiste à ação das partículas abrasivas.

Cumpra ainda assinalar que os resultados dos ensaios de dureza não têm significado físico rigorosamente definido, desde que as propriedades dos metais variam durante o próprio ensaio. No caso dos não metais, como são as partículas do solo, verifica-se um fissuramento do material durante os ensaios, em decorrência de sua elevada dureza.

Os valores da taxa de desgaste, apresentados na Tabela 5.2, parecem elevados, quando comparados aos obtidos por BORGHEI (1968), com órgãos ativos cujas durezas se aproximam daquelas dos bicos 1 e 3. Com base nas conclusões a que chegaram KHRUSHCHOV & BABICHEV (1956), comparando a dureza do metal e das partículas abrasivas, pode-se atribuir a divergência entre os resultados obtidos por BORGHEI (1968) e os do presente trabalho, à grande diferença de dureza entre o quartzo - Tabela 1.3- - e as peças tratadas - Tabela 4.1.

O processo abrasivo, deste modo, não só é função das características do metal, mas também das propriedades do solo e das condições operacionais.

6. CONCLUSÕES

1. Os solos produziram desgastes diferentes. O Latossol Vermelho Amarelo-Orto, quando comparado com a série Sertãozinho, produziu maior desgaste, tanto nos bicos normalizados, como nos temperados e revenidos. Esse comportamento parece estar associado às diferenças na textura, dureza e arredondamento dos principais componentes minerais dos solos.

2. Nas condições do presente trabalho, o desgaste por abrasão apresenta uma proporcionalidade linear positiva, em relação ao espaço percorrido, e negativa em relação à umidade. Assim, o desgaste dos bicos aumentou com o espaço percorrido e diminuiu com a elevação da umidade.

3. A microestrutura formada de martensita revenida,

com dureza entre 34 e 48 RC, foi mais resistente à abrasão, nos dois tipos de solo, quando comparada com a microestrutura formada de perlita e ferrita, com dureza entre 90 e 95 RB.

4. No solo onde o quartzo se apresentou em maior frequência percentual, mais anguloso e com partículas de maiores dimensões, o desgaste dos bicos foi mais acentuado. Esses fatores, associados à elevada diferença entre as durezas do quartzo e da superfície dos bicos, sugerem que em futuros estudos dessa natureza, levem-se em conta as características do principal constituinte mineral do solo e de seu material cementante, para que as propriedades da superfície dos órgãos ativos possam ser definidas, visando-se resistência à abrasão.

7. RESUMO

No presente trabalho estuda-se o comportamento de órgãos ativos de um subsolador submetidos a duas modalidades de tratamento térmico quanto ao desgaste por abrasão, em dois solos.

As peças ativas do subsolador, constituídas de aço carbono hipoeutetóide, foram submetidas à têmpera, seguida de revenido, ou à normalização. A caracterização das peças tratadas termicamente foi feita através da dureza Rockwell e da microestrutura. Os solos utilizados foram: série Sertãozinho, pertencente ao grande grupo Regossol, e uma unidade do grande grupo Latossol Vermelho Amarelo. Estes solos foram caracterizados através da determinação de sua textura, da dureza e da aspereza ou angulosidade das partículas que os constituem.

Nos ensaios de campo o desgaste foi quantificado através da percentagem de perda de peso inicial do órgão ativo e às variáveis consideradas foram: a) distância percorrida, b) umidade do solo, c) tratamento térmico dos bicos, d) tipo de solo.

Os resultados dos ensaios de campo foram analisados pelo método dos Quadrados Mínimos. Verificou-se que o desgaste por abrasão, para um determinado tipo de solo e tratamento térmico dos bicos, aumenta com o espaço percorrido e diminui com o teor de umidade do solo. Os solos produziram desgastes diferentes, sugerindo uma influência da textura, da angulosidade e da dureza de suas partículas.

Quanto ao metal, evidenciou-se que a microestrutura formada de martensita revenida foi mais resistente que a constituída de perlita e ferrita.

O desgaste por abrasão dos bicos aumentou nos solos em que o quartzo se apresentava em maior frequência percentual, com partículas mais angulosas e de maiores dimensões. Os resultados indicam que futuros estudos devem ser direcionados no sentido de uma melhor caracterização do principal componente mineral do solo e seu material cementante. Desse estudo depende a definição das características que deverão apresentar as superfícies dos órgãos ativos, visando-se resistência à abrasão.

8. SUMMARY

In this work a study is made of the effect of heat treatments upon the resistance to abrasion wear of subsoiler tips, in two types of soil.

The tips were made of hypoeutectoid carbon steel and submitted to quenching followed by tempering or normalizing. Thus treated the tips were characterized through their Rockwell hardness and microstructural analysis.

The soils used for the experiment belong to the great soil group Regosol, série "Sertãozinho", and a unity of the great soil group Red Yellow Latosol. Mineral constituent of soils were characterized through size distribution, hardness and angularity of the particles.

The amount of wear was evaluated in field tests through the weight loss of the tips. The variables considered were: travel distance, soil moisture, heat treatment of the tips and soil type.

Analysis of the results indicate that for a given tip and soil, abrasion wear increases with travel distance and decreases with an increase in soil moisture. The amount of wear was affected by size, size distribution, angularity, and hardness of the mineral particles of the soils.

Microstructural analysis of the tips indicate a decrease in the amount of wear for structures formed with tempered martensite and an increase for structures formed with ferrite and pearlite.

Abrasion wear of the tips was increased for soils in which quartz was present in higher percentual frequency, angulated and with particles of larger dimensions. The results indicate that studies should be directed towards a thorough characterization of the principal mineral constituent of the soil and the cementing material, in order to define the characteristics of the active surface of the tool with views to minimize abrasion wear.

9. BIBLIOGRAFIA CITADA

- A B N T - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1968), Norma P-MB-389. Determinação Gasométrica de Carbono por Combustão Direta em Aços Carbono. 4 pp.
- A S T M - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1966), Designação: E 18-65. Tests for Rockwell Hardness of Metallic Materials. Vol. 30: 191-214. 930 pp.
- A S T M - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1968), Designação: E 30-56. Manganese by the Persulfate Method. Vol. 32: 17-19. 914 pp.
- BABICHEV, M.A. (1960). Investigation of the Abrasive Wear of Metals by the Brinell Method. pp. 1-29, em Friction and Wear In Machinery. Vol. 14. ASME, New York, USA. 307 pp.

- BAIN, E.C. (1939). Functions of the Alloying Elements in Steel
U.S. Steel Corporation, Pittsburgh, Pa., USA. 312 pp.
- BORGHEI, A.M. (1968). Usure Par Abrasion Des Outils De Travail
Du Sol. These de Docteur Ingenieur Présentées A La Fa-
culte Des Sciences De L'Universite de Paris. 97 pp.
- CAMERON, E.N. (1961). Ore Microscopy. John Wiley Sons, Inc., New
York, USA. 210 pp.
- COLPAERT, H. (1959). Metalografia Dos Produtos Siderúrgicos Co-
muns. Edições Edgard Blucher, São Paulo. 412 pp.
- GILL, W.R. & VANDEN BERG, G.E. (1967). Soil Dynamics in Tillage
and Traction. Agriculture Handbook nº 316. USDA, Washing-
ton D.C., USA. 511 pp.
- I S O - INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION (1959), Designação:
TC 17-921. Tests for Vickers Hardness 4 pp.
- KEHL, G.L. (1949). The Principles of Metallographic Laboratory
Practice. McGraw-Hill Book Co., New York, USA. 520 pp.
- KHRUSHCHOV, M.M. & BABICHEV, M.A. (1956). Investigation of the
Effect of Abrasive Hardness on Wear of Metals. pp.13-
19, em Friction And Wear In Machinery. Vol. 11 ASME, New
York, USA. 335 pp.
- KHRUSHCHOV, M.M. & BABICHEV, M.A. (1958). Investigation of the
Wear of Steel in the Presence of Water on the Rubbing
Surface. pp. 25-38, em Friction And Wear In Machinery.
Vol. 12. ASME, New York, USA. 334 pp.
- KRUMBEIN, W.C. (1941). Measurement and Geological Significance of
Shape and Roundness of Sedimentary Particles. Journal of
Sed. Petrol. Vol. 11: 64-72.
- LEINZ, V. & CAMPOS, J.E.S. (1962). Guia Para Determinações de Mi-
nerais. Editora Faculdade de Filosofia Ciências e Le-
tras, U.S.P., São Paulo, 130 pp.

- MOHSENIN, N. et al. (1956). Wear Tests of Flowshare Materials. Journal of the American Society of Agricultural Engineerings 37(4): 816-820.
- NOVITSKAIA, A.A.S. (1959). Wear Resistance of Carbon of Different Structure. pp. 3-16, em Friction and Wear In Machinery. Vol. 13, ASME, New York, USA. 263 pp.
- RANZANI, G. et al. (1966). Carta de Solos do Município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos, Piracicaba. 85 pp.
- RANZANI, G. et al. (1968). Carta de Solos do Centro de Mecânica Agrícola. Centro de Estudos de Solos, Piracicaba (não publicado).
- REED, T.F. & GORDON, E.D. (1951). Determining the Relative Wear Resistance of Metals. Journal of the American Society of Agricultural Engineerings 32(2): 98-100.
- ROSENBERG, S.J. et al. (1960). Wear of Metals. pp. 218-222, em Metals Handbook. Taylor Lyman, Novelty, Ohio, USA. 1332 pp.
- STROPPEL, T. (1961). Uber Das Instandsetzen Abegenutzter Pflungschare Und Deren Warmebehandlung. Grundlagen Der Landtechnik 11(3): 79-82.
- VELIKANOVA, A.A. (1962). Wear Resistance of Materials for Soil Cutting Blades. pp. 63-68, em Friction And Wear In Machinery. Vol. 15, ASME, New York, USA. 452 pp.

A G R A D E C I M E N T O S

Expressamos nossos agradecimentos a:

.Eng^o Agr^o Luiz Geraldo Mialhe, Instrutor da Cadeira de Mecânica, Motores e Máquinas, da E.S.A. "Luiz de Queiroz", da U.S.P., pela orientação ao presente trabalho.

.Eng^o Agr^o Edwaldo Müller, Diretor do Centro de Mecânica Agrícola, pelo apôio sempre presente, que permitiu a realização do presente trabalho.

.Dr. Renato Rocha Vieira, Prof. Regente da Cadeira de Metalografia do Departamento de Metalurgia da Escola Politécnica, da U.S.P., pelas sugestões apresentadas.

.Eng^o Agr^o Cássio R. de Melo Godoi, Instrutor da Cadeira de Matemática, Prof. Dr. Anivaldo P. Cobra, Livre-Docente da Cadeira de Mecânica, Motores e Máquinas e Dr. José Luiz I. Demattê, da Cadeira de Solos e Agrotecnia, da E.S.A. "Luiz de Queiroz", da U.S.P., pelas colaborações.

.Dr. Kenitiro Suguio, do Departamento de Geologia e Paleontologia da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, da U.S.P. e Dr. Waldemar Constantino, do Departamento de Engenharia de Minas, da Escola Politécnica, da U.S.P., pelas colaborações.

.Eng^o Agr^o Sérgio A. H. Kurachi, demais técnicos e funcionários do Centro de Mecânica Agrícola, que direta ou indiretamente auxiliaram no presente trabalho.

.Indústria de Máquinas Agrícolas Fuchs S.A. - IMASA, pelo fornecimento do subsolador.

.Ao Egrégio Conselho que administra o Fundo de Mecanização e Conservação do Solo, do Departamento de Engenharia e Mecânica da Agricultura - DEMA, da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, pela oportunidade que permitiu a conclusão do Curso Pós-Graduado e a execução do presente trabalho.