

ABORDAGEM GLOBAL DO ESTUDO DO PROCESSO ABRASIVO - PARTE III :
PROJETO, CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE ABRASÔMETRO DO TIPO
RODA-DE-BORRACHA (1).

Petrônio Zumpano Júnior (2)

Donato D. Cornachioni (3)

José Daniel Biasoli de Mello (4)

RESUMO

Apresenta-se o projeto, construção e avaliação de um abrasômetro tipo roda-de-borracha. O protótipo desenvolvido, permite a realização de ensaios úmidos e secos. Especial atenção foi dada à refrigeração do corpo de prova, visando minimizar as alterações de temperatura. Apresenta-se também alguns resultados relativos a aços eutetóides utilizados na fabricação de discos de arado.

-
- (1) Contribuição Técnica a ser apresentada no 1º Seminário Sobre Materiais Resistentes ao Desgaste. São Paulo-SP, Setembro de 1989.
 - (2) Engº Mecânico., Laboratório de Engenharia de Materiais (LEM), Deptº de Ciências Físicas (DECIF), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG.
 - (3) Aluno de Iniciação Científica, LEM-DECIF, UFU, Uberlândia-MG.
 - (4) Membro da ABM, Prof. Titular, LEM-DECIF, UFU, Uberlândia-MG.

1 - INTRODUÇÃO.

O Laboratório de Engenharia de Materiais, em conjunto com o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, tem desenvolvido iniciativas objetivando a otimização de ferramentas para o trabalho do solo^(1 a 4). Dentre estas ações, a otimização da vida útil destes implementos motivou a construção de um equipamento que simulasse, em laboratório, as condições reais de operação. Dentre os diversos instrumentos citados na literatura⁽⁵⁾, aparece como alternativa o abrasômetro tipo roda-de-borracha, em função de sua excelente correlação com testes reais, como ilustrado pela figura 1⁽⁶⁾. Em ambos os casos, o desgaste é medido em relação ao aço ABNT 1090, cujo desgaste é tomado como 100. A dureza da borracha, neste caso, é de 55 Shore A.

Conforme ressaltado na parte I do presente artigo⁽⁵⁾, este tipo de teste reproduz uma configuração 3 corpos, $D > d$, baixas tensões. Nestas condições, as tensões impostas às partículas são tais que, não existe fragmentação das mesmas⁽⁷⁾.

Este abrasômetro foi proposto originalmente por HAWORTH⁽⁸⁾ e tem gerado mais dados sobre desgaste abrasivo do que qualquer outro teste⁽⁹⁾.

A evolução deste equipamento gerou várias versões, que se enquadram em dois modelos básicos: úmido e seco. Além da presença da água, estes equipamentos diferem fundamentalmente no modo de alimentação do fluxo abrasivo

Na primeira versão, derivada diretamente do teste proposto por HAWORTH⁽⁸⁾, a roda gira no interior de uma mistura água-abrasivo. Palhetas solidárias à roda asseguram a alimentação do abrasivo, figura 2a.

Um reservatório, situado sobre o equipamento, garante, por gravidade, o fluxo abrasivo na segunda versão. A vazão do abrasivo é controlada por meio de uma válvula ou de orifícios calibrados. A geometria e o posicionamento do orifício afetam o tipo de fluxo, podendo alterar os resultados.

Neste último caso, o abrasivo é constantemente renovado e utilizado uma só vez. Supondo o contato como hertziano, pode-se calcular vários parâmetros atuantes e, especialmente, os esforços agindo sobre cada partícula individualmente.

Para o método úmido isto não é possível, uma vez que não se conhece o número de partículas ativas⁽⁷⁾. O método seco apresenta, contudo, um sério inconveniente: a energia dissipada durante o processo eleva a temperatura do elastômero. Muito embora as temperaturas nos pontos de contato não sejam conhecidas, dados da literatura indicam valores consideravelmente elevados para a temperatura média do corpo de prova - de 100⁽⁷⁾ a 462°C⁽⁸⁾. Estas temperaturas são suficientemente altas para alterar significativamente as características viscoelastoplásticas da borracha. Consequentemente, as condições reológicas do contato são alteradas durante o teste. Este método, devido às suas características, foi objeto de padronização pela ASTM⁽¹⁰⁾.

Destaca-se ainda, a existência de uma terceira versão, cuja utilização é restrita a ligas duras produzidas por sinterização. Nesta versão, a roda revestida de borracha é substituída por uma roda em aço, gerando assim, elevadas tensões no contato⁽¹¹⁾.

Durante a fase de desenvolvimento do teste, verificou-se que a perda de massa é uma função exponencial da dureza da borracha. A perda de massa pode, portanto, ser linearizada por meio de um gráfico semi-logarítmico. Esta representação gráfica apresenta os resultados na forma de linhas retas paralelas dispostas na direção vertical.

Para comparar vários materiais, a perda de massa é normalizada para uma dureza da roda de 55 Shore A e, então, convertida em perda volumétrica pela divisão da massa perdida pela densidade do material em particular. Como exemplo, apresenta-se a figura 3. Na figura, 12 materiais são comparados com base na perda volumétrica, normalizada para dureza 55 Shore A, num gráfico de barras. As barras na figura são arranjadas na sequência crescente de resistência à abrasão. Este gráfico mostra ainda que o aço ao carbono SAE 1018 é 12 vezes mais resistente ao desgaste que uma placa de vidro comum. O aço SAE 4140 endurecido (temperado), por sua vez, é 4 vezes mais resistente à abrasão que o aço SAE 1018. O ferro fundido branco 15%Cr-3%Mo (alto Carbono), ultrapassa o aço SAE 4140 endurecido, por um fator de aproximadamente 8. Metal duro à base de Tungstênio sinterizado, por outro lado, exibe uma resistência 4 vezes maior que a do ferro fundido branco 15%Cr-3%Mo. Por estas razões, o fator que separa o pior material do melhor material testado, é cerca de 1500. Isto reflete a larga faixa de aplicabilidade

de do teste de abrasão do tipo roda-de-borracha.

2 - PROJETO E CONSTRUÇÃO.

Devido à simplicidade do equipamento, foram utilizados métodos clássicos de projeto e construção mecânica, para o dimensionamento e produção dos diversos tipos de componentes do aparelho. A figura 5 mostra uma vista geral do protótipo construído. Observa-se o módulo de controle (A), o sistema de potência (B), o abrasômetro propriamente dito (C), o reservatório de abrasivo (D) da versão seca e o sistema de refrigeração do conjunto porta-amostra (E).

O protótipo construído, propicia a realização tanto do teste úmido quanto do teste seco. No primeiro caso, palhetas solidárias à roda (diâmetro de 177,8 mm) asseguram o fluxo do abrasivo na interface amostra/borracha. Para a versão seca, a roda apresenta um diâmetro maior (229 mm). Em ambos os casos, o anel de borracha apresenta uma seção transversal quadrada (10X10 mm), sendo as mesmas fixadas na roda de aço por adesão, através de uma fina película de adesivo.

A borracha utilizada possui dureza de 60 Shore A. Este valor é controlado antes da realização de cada ensaio, por meio de um durômetro, conforme mostra a figura 6. A figura 6 mostra também, a roda utilizada para a versão úmida do teste. A figura mostra, ainda, os detalhes do dispositivo de aplicação de carga e do porta-amostra (destacado na figura). Ressalta-se o sistema de refrigeração forçada do conjunto. Esta refrigeração visa minimizar a elevação de temperatura, de forma a reduzir as alterações do comportamento reológico da borracha, durante os ensaios. Com isto, melhora-se a reprodutibilidade do teste. Ressalta-se ainda que o reservatório foi calculado de forma a minimizar as variações de vazão do abrasivo ao longo do teste.

O acionamento da roda é garantido por um motor de corrente contínua, de potência 1 HP, que produz velocidades variáveis de 20 a 300 rpm. Para o controle desta velocidade, foi projetado e construído um tacômetro ótico. A figura 7 mostra o módulo de comando que, além do indicador do tacômetro e do variador de velocidades, dispõe de um programador de tempo, também projetado e

construído, que permite a interrupção programada do teste, em tempos pré-determinados.

3 - AVALIAÇÃO DO EQUIPAMENTO.

A avaliação do protótipo foi realizada com amostras de aço eutetóides. Estes aços são utilizados na fabricação de discos de arado. Foram efetuados ensaios em amostras provenientes de discos de arado, produzidos por três fabricantes distintos.

A tabela 1 mostra as principais características dos aços utilizados. Os ensaios, na versão úmida, foram executados com as amostras nos estados laminado e temperado e revenido. A caracterização metalúrgica destes discos, bem como a descrição das diversas etapas de sua fabricação e tratamento térmico, foram objeto de publicação recente⁽⁴⁾.

A tabela 2 apresenta as condições tribológicas impostas nas duas versões utilizadas para a avaliação do protótipo. O abrasivo utilizado foi a Areia Normal Brasileira, produzida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo, granulometria 50 (0,3 mm). As características desta areia estão descritas, em detalhes, na norma NBR 7214⁽¹²⁾.

A tabela 3, por sua vez, apresenta os resultados para os aços testados. Cada resultado representa a média apresentada por dois corpos de prova que foram ensaiadas em suas duas faces maiores, totalizando quatro testes. Desta tabela, pode-se concluir que a reprodutibilidade do equipamento é satisfatória, sendo os valores encontrados em bom acordo com a literatura, conforme minucioso trabalho de AVERY⁽¹³⁾, onde valores σ / \bar{X} , entre 0,44 e 20% são relatados. Este autor recomenda 8% como limite admissível.

A figura 8 apresenta o desgaste produzido no teste úmido, em função da dureza dos materiais testados. Observa-se uma ligeira diminuição da perda de massa com o aumento da dureza, até valores de cerca de 320 H_v. A partir deste valor, a perda de massa praticamente independe da dureza.

Apenas os materiais temperados e revenidos foram testados na versão seca do equipamento. A figura 8 apresenta estes resultados, comparativamente com o método úmido. Em função dos parâmetros tribológicos impostos, em particular o tempo de ensaio e a carga, o desgaste apresentado pelo teste seco é consideravelmente superior.

Observa-se também, uma alteração da classificação do desempenho dos materiais. No teste úmido, a resistência à abrasão aumenta na ordem CTB, ao passo que, para o ensaio seco, esta ordem é BTC. Ressalta-se, no entanto, que as diferenças não são consideráveis (10,4%, no caso mais acentuado), podendo-se concluir que os materiais apresentam um desempenho igual, tanto no método seco quanto no método úmido. Estes resultados estão em bom acordo com dados da literatura (14).

4 - CONCLUSÃO.

O presente artigo, sumariza as diversas etapas do projeto e construção de um abrasômetro do tipo roda-de-borracha. O protótipo revelou-se bastante versátil e funcional, permitindo a realização de ensaios pelos métodos úmido e seco. Para o método seco, precauções foram tomadas, visando minimizar a elevação de temperatura da borracha.

Os resultados obtidos a partir de ensaios preliminares, mostram uma boa concordância com resultados publicados previamente e, em particular, no que concerne à reprodutibilidade do equipamento. Pode-se concluir ainda que, o desgaste não obedece uma função linear com a dureza e que os diversos materiais, na condição de temperados e revenidos, apresentam comportamento equivalente.

5 - AGRADECIMENTOS.

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio recebido, bem como aos fabricantes de discos de arado pelo fornecimento de amostras.

6 - BIBLIOGRAFIA.

- (1) - LÉPORE, F.P. e STEFFEN, V.. "Dynamical Behaviour of Vibrating Subsoilers". Proceedings of the 10th. CANCAN/85. Canadá, Vol. 1, 1985, p. 195-196.
- (2) - STEFFEN, V. e LÉPORE, F.P.. "Experimental Field Testing Devices for Agricultural Tools". Experimental Techniques, 10, 1986, p. 24-27.
- (3) - SANTOS, L.A. e GOMIDE, H.A.. "Determinação da Resistência à Fadiga de Discos de Implementos Agrícolas". XVII Con-

- gresso Brasileiro de Engenharia Agrícola-CENEA. Iperô, SP, 1988.
- (4) - FRANCO, S.D.; GONÇALVES, R.A. e DE MELLO, J.D.B.. "Caracterização Mecânico-Metalúrgica de Discos de Arado". Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Jundiaí, SP, 1987, Vol. I, p. 190-204.
 - (5) - DE MELLO, J.D.B.. "Abordagem Global do Processo Abrasivo - Parte I : Considerações Sobre os Métodos Abrasométricos". Submetido ao 1º Seminário Sobre Materiais Resistentes ao Desgaste. São Paulo, SP, ABM/EPUSP, Setembro de 1989.
 - (6) - STOLK, D.A.. "Field and Laboratory Abrasion Tests on Plowshares". SAE, Artigo Nº 700690, Setembro de 1970.
 - (7) - AVERY, H.S.. "An Analysis of the Rubber Wheel Abrasion Test". Proceedings of International Conference on Wear of Materials. ASME, 1981, p. 367-378.
 - (8) - HAWORTH, R.D.. "The Abrasion Resistance of Metals". Trans. ASM, 41, 1949, p.819-854.
 - (9) - BORIK, F.. "Using Tests to Define the Influence of Metallurgical Variables on Abrasion". Metals Engineering Quaterly, 1972, p. 33-39.
 - (10) - ASTM G 65. "Standard Practice for Conducting Dry Sand Rubber Wheel Abrasion Tests".
 - (11) - ASTM B 611-76. "Abrasive Wear Resistance of Cemented Carbides".
 - (12) - ABNT, NBR 7214 - 1982. "Areia Normal Brasileira para Ensaio de Cimento".
 - (13) - AVERY, H.S.. "Classification and Precision of Abrasion Tests". International Conference on Wear of Materials. ASME, USA, 1977, p. 148-157.
 - (14) - SWANSON, P.A. and KLANN, R.W.. "Abrasive Wear Studies Using the Wet Sand and Dry Sand Rubber Wheel Tests". Wear of Materials, 1981, ASME, USA, p. 379-389.

Tabela I - Características dos Materiais Ensaçados.

Material	Composição Química						Dureza Vickers	
	C	Mn	Si	B _{max}	S _{max}	Cr _{max}	Laminado.	Temp. e Revenido
B	0,7 a 0,8	0,7 a 1,0	0,15 a 0,30	0,025	0,015	0,60	234	441
C	0,75 a 0,88	0,6 a 0,9	0,15 a 0,30	0,05	0,015	0,30	290	442
T	0,65 a 0,75	0,6 a 0,9	-	0,04	0,05	-	314	384

Tabela II - Características dos testes de abrasão roda-de-borracha.

Versão		Úmido	Sêco
Diâmetro da roda (mm)		177,8	229
Dureza da borracha (Shore A)		60	60
Rotação da roda (rpm)		245	200
Velocidade tangencial (m/s)		2,28	2,39
Duração do Teste	Pré-teste (min.)	-	10
	Tempo (min.)	4	10
	Revoluções	980	2000
Carga nominal (kg _f)		22,800	13,608
Abrasivo		Areia Normal Brasileira	
Fluxo do abrasivo (g/min.)		-	298 ± 10
Mistura abrasiva		4 Kg de areia + 2 litros de H ₂ O + 0,5% de óleo. ²	

Tabela 3 - Variação de massa (mg).

Versão Amostra		Úmida			Sêca		
		Média	Desvio Padrão	σ/\bar{X} (%)	Média	Desvio Padrão	σ/\bar{X} (%)
B	Laminado	6,18	0,52	8,4	-	-	-
	Temp. e Rev.	5,3	0,30	5,7	62,65	3,56	5,7
C	Laminado	5,5	0,19	3,4	-	-	-
	Temp. e Rev.	4,90	0,38	7,8	69,92	1,96	2,8
T	Laminado	4,95	0,26	5,2	-	-	-
	Temp. e Rev.	4,92	0,50	10,1	65,60	4,55	6,9

ABSTRACT

This paper presents the construction and evaluation of one specific rubber wheel abrasion tester, to perform a wet and dry tests. Special attention was made to avoid and minimize the temperature changes. It is also present some results of the eutectoids steels used in plow disc of agriculture equipments.

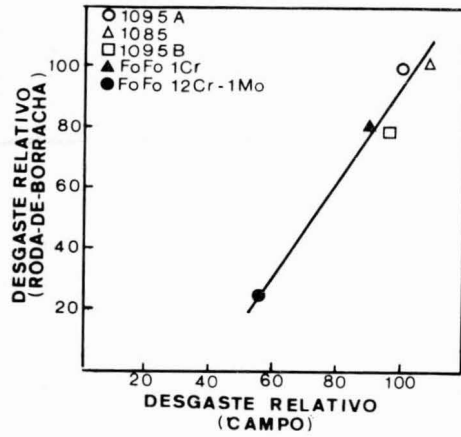


Figura 1 - Correlação entre o desgaste abrasivo determinado pelo abrasômetro do tipo roda-de-borracha e ensaios no campo.

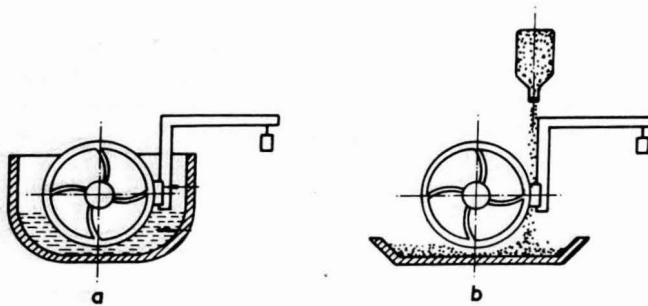


Figura 2 - Esquematização do abrasômetro do tipo roda-de-borracha: (a) - versão úmida; (b) - versão seca.

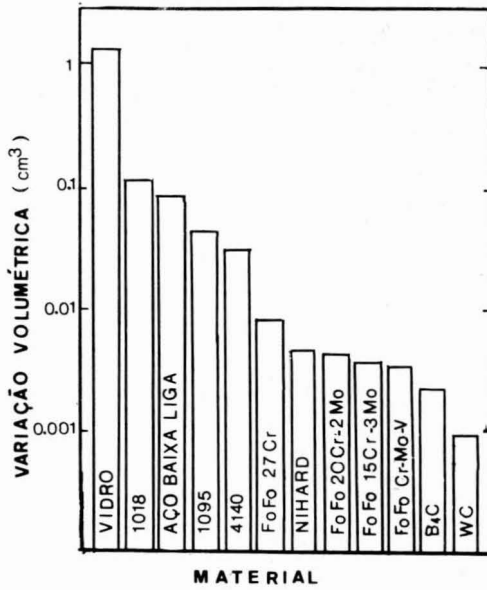


Figura 3 - Resistência à abrasão de vários materiais determinados pelo teste roda-de-borracha ⁽⁹⁾.

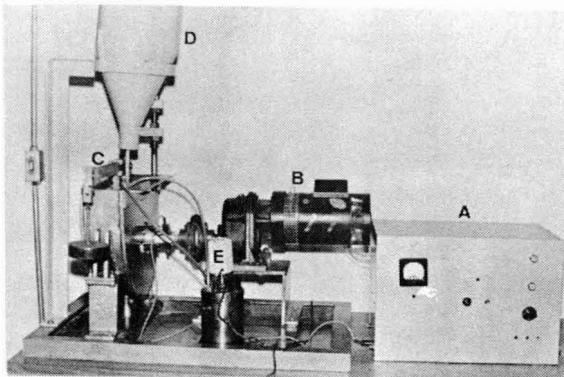


Figura 4 - Vista geral do protótipo construído.

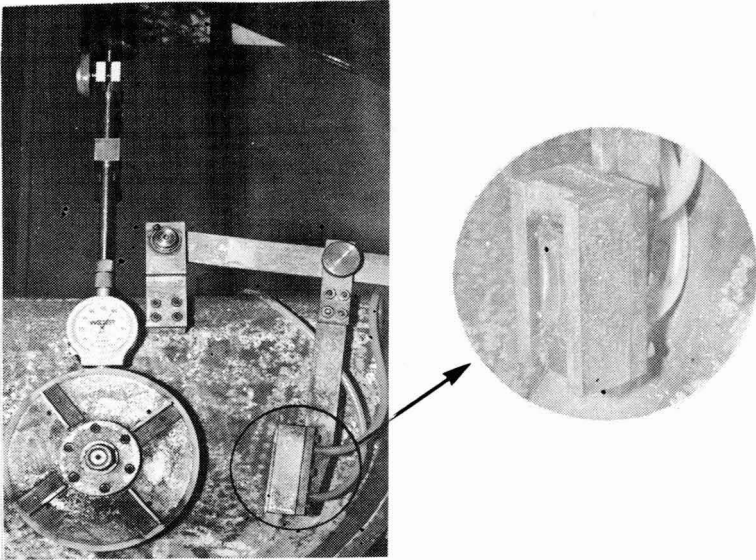


Figura 5 - Detalhe do dispositivo de aplicação de carga. O encarte mostra o sistema porta-amostra.

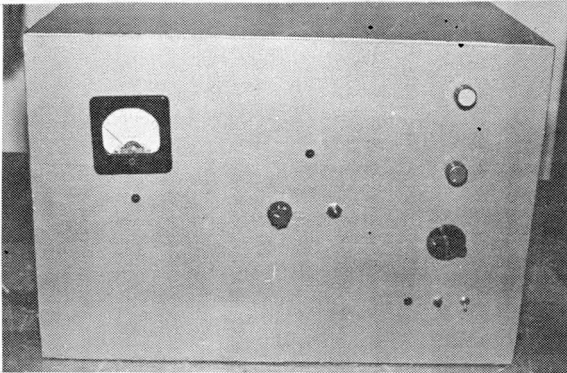


Figura 6 - Módulo de controle.

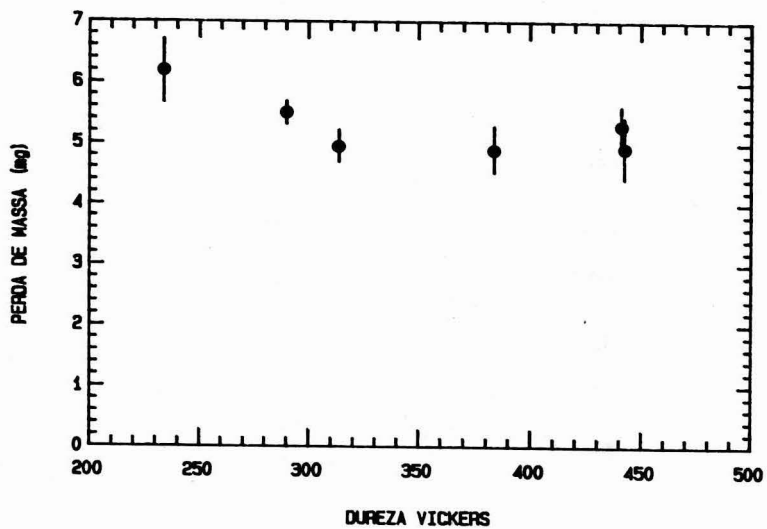


Figura 7 - Influência da dureza no desgaste abrasivo.
Método úmido.

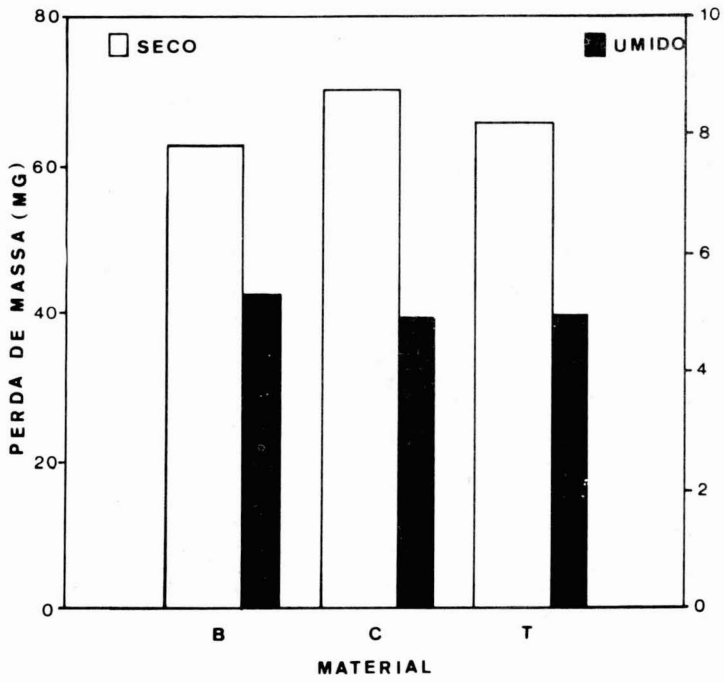


Figura 8 - Comparação dos testes úmido e sêco.