



CONSTRUÇÃO DE UM DURÔMETRO POR REBOTE

Danilo Venturi - danventuri@catolicasc.org.br

Centro Universitário Católica de Santa Catarina em Jaraguá do Sul

Rua dos Imigrantes, número 500 - Bairro Rau

CEP 89.254-430 Jaraguá do Sul – Santa Catarina

Daniel Deschamps - deschamps@catolicasc.org.br

Luana A. Vieira dos Reis – lavieira@catolicasc.org.br

Jaisson Potrich Dos Reis – jaissonreis@catolicasc.org.br

***Resumo:** Dentre os ensaios dinâmicos, cuja impressão é causada pela queda livre de um êmbolo com uma ponta padronizada de diamante, destaca-se a dureza Shore. Neste ensaio, o valor da dureza é proporcional à energia de deformação consumida para formar a marca no corpo de prova, e é representada pela altura alcançada no rebote do êmbolo. Dessa forma, materiais dúcteis irão consumir mais energia na deformação do corpo de prova e o êmbolo alcançará uma altura menor no rebote, indicando uma menor dureza. O equipamento é de fácil construção e possui custo de fabricação reduzido. O presente artigo, com base em estudos da literatura e experimentos já realizados no Centro Universitário Católica de Santa Catarina em Jaraguá do Sul/SC, propõe a construção e demonstração prática da utilização de um durômetro de rebote de unidade de dureza Shore.*

***Palavras-chave:** Ensaios dinâmicos, Dureza Shore, Rebote, construção.*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente dentre os ensaios mecânicos realizados em materiais, os ensaios de dureza possuem diversas aplicabilidades no âmbito industrial. Existem os ensaios de dureza por penetração (Brinell/Rockwell/Vickers), e também existem os ensaios de dureza por rebote. O durômetro por rebote Shore é leve, portátil e, portanto, pode ser adaptado em qualquer lugar, sendo assim não pode ser utilizado para a medição de dureza de peças muito grandes, impossíveis de serem colocadas nas máquinas de dureza por penetração, como por exemplo, cilindros de laminação. A impressão Shore é pequena, e serve para medir dureza de peças já acabadas ou usinadas, ao contrário dos demais ensaios por penetração. Mas devido a sua aplicação restrita, pois não é possível medir dureza de materiais com elevada dureza, como carbeto dentre outros. O ensaio de dureza Shore é pouco disseminado nas universidades e nas empresas que prestam este serviço.

O ensaio de dureza por rebote de unidade Shore é muito utilizado na medição da dureza em borrachas, elastômeros, plásticos e couros. Como também acontece no ensaio de dureza por penetração Rockwell, onde existem várias escalas e em cada uma destas é possível medir a dureza de um grupo específico de materiais, e isso também ocorre na escala Shore, onde a escala mais utilizada para materiais dúcteis é a Shore A e para materiais mais duros é a Shore D.

Portanto, este trabalho acadêmico tem como objetivo geral a construção de um durômetro de rebote didático de unidade de dureza Shore. Somam-se a este objetivo as seguintes atividades para a conclusão da construção do durômetro: Dimensionar e projetar as peças do durômetro, fabricar as peças e acessórios do durômetro por Rebote nos laboratórios da Engenharia Mecânica da Católica de Santa Catarina em Jaraguá do Sul e realizar ensaios de medição de dureza por rebote em materiais poliméricos (Plastiprene, poliuretano e nylon) para posterior comparação dos resultados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Dureza

Conforme Callister (2008) dureza consiste em uma medida da resistência de um material a uma deformação plástica localizada. A dureza é um conceito físico largamente utilizado nas suas diversas aplicações em todo o mundo. Conforme já mencionado, neste trabalho será dado ênfase na parte de dureza por rebote.

Conforme Van Vlack (2008), na área mecânica, é importante distinguir a endurecibilidade da dureza. A dureza é uma medida da resistência à deformação plástica. Já a endurecibilidade ou temperabilidade é a maior ou menor facilidade com que se pode conseguir a dureza, ou o aumento desta.

2.2. Dureza por rebote com unidade SHORE

Em 1.907, Albert F. Shore propôs uma medida de dureza por choque que mede a altura do ressalto (rebote) de um peso que cai livremente até bater na superfície lisa e plana de um corpo de prova. Essa altura de ressalto mede a perda da energia cinética do peso, absorvida pelo corpo de prova.

Esse método é conhecido por dureza escleroscópica ou dureza Shore. A dureza Shore foi introduzida para ensaios em aços endurecidos, onde o método Brinell não podia ser usado por danificar a esfera penetradora. Ele utiliza um embolo de aço em forma de uma barra com uma ponta arredondada de diamante, que cai de certa altura dentro de um tubo de vidro graduado de 0 a 140 mm. A altura de ressalto após o choque é tomada como a dureza do material sendo medida por um ponteiro que indica essa altura de queda (SOUZA, 2008).

O tubo graduado deve ser colocado bem na vertical. Se a fixação do corpo de prova é bem feita, a variação de dureza Shore é pequena. O tubo graduado deve ser colocado perpendicularmente à chapa de fixação do corpo de prova. Recomenda-se fazer pelo menos cinco medidas de dureza em pontos diversos do material para garantir bem o resultado.

O sistema de fixação para o corpo de prova deve ser eficiente para garantir a precisão dos ensaios. O tubo graduado deve ser colocado bem na vertical. A massa do êmbolo deverá ser de aproximadamente de 0,250kg, para garantir uma força peso de 2,5N. (E-448, ASTM)

Superfícies não lisas de corpos de prova podem gerar leituras falsas, menores que as reais (SOUZA, 2008). A Figura 1 mostra um durômetro por rebote de escala Shore com seus principais parâmetros e grandezas usadas conforme as normas brasileiras e internacionais.

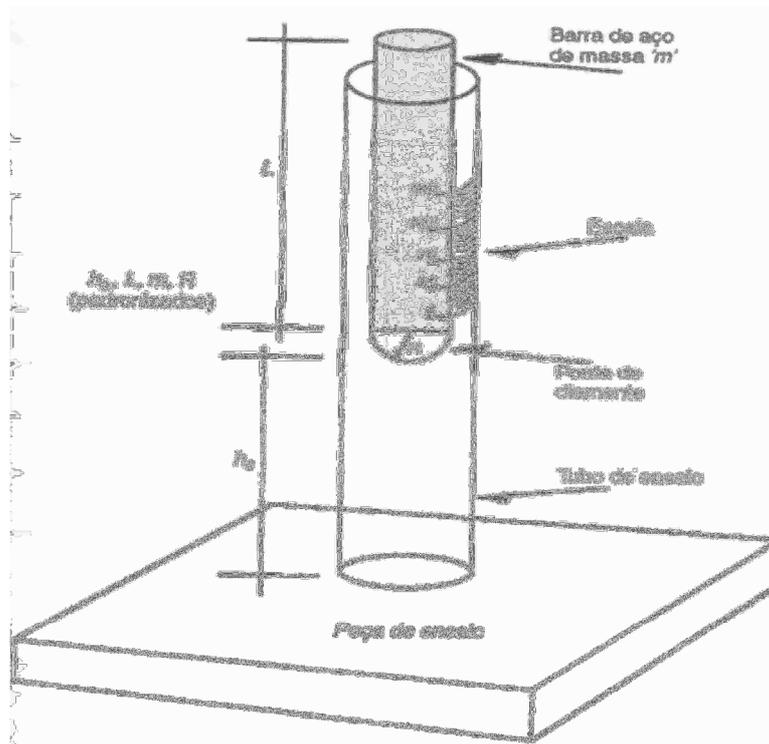


Figura 1: Durômetro por rebote de escala Shore.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para a construção do durômetro por rebote de unidade Shore que ficará disponível para uso nas aulas de disciplinas de ciência e engenharia de materiais na Católica de Santa Catarina em Jaraguá do Sul, foram necessários os seguintes materiais:

- Base e estrutura metálica;
- Êmbolo de aço;
- Tubo com escala para a verificação de altura de rebote do embolo, de acrílico ou vidro;
- Ponta de diamante ou de aço temperado;
- Adesivo graduado.
- Elementos de fixação e montagem (Parafusos, presilhas, abraçadeiras);
- Câmera digital

3.2. Métodos

As primeiras etapas da construção do durômetro foram às pesquisas, seguindo o sistema de normalização que rege os ensaios de dureza. As normas utilizadas foram a ASTM E448 - Prática padrão para o teste de dureza escleroscópica em matérias metálicas e a ABNT NBR 7456 – Determinação da dureza Shore. A partir dessas especificações iniciou-se a construção do esboço do projeto utilizando o software Solid Works Corporation. O primeiro desenho completo do durômetro pode ser visualizado na Figura 2. Vale ressaltar que todos os componentes mostrados na Figura 2, foram adquiridos com o auxílio financeiro cedido pela Católica de Santa Catarina, através do setor de pesquisa.

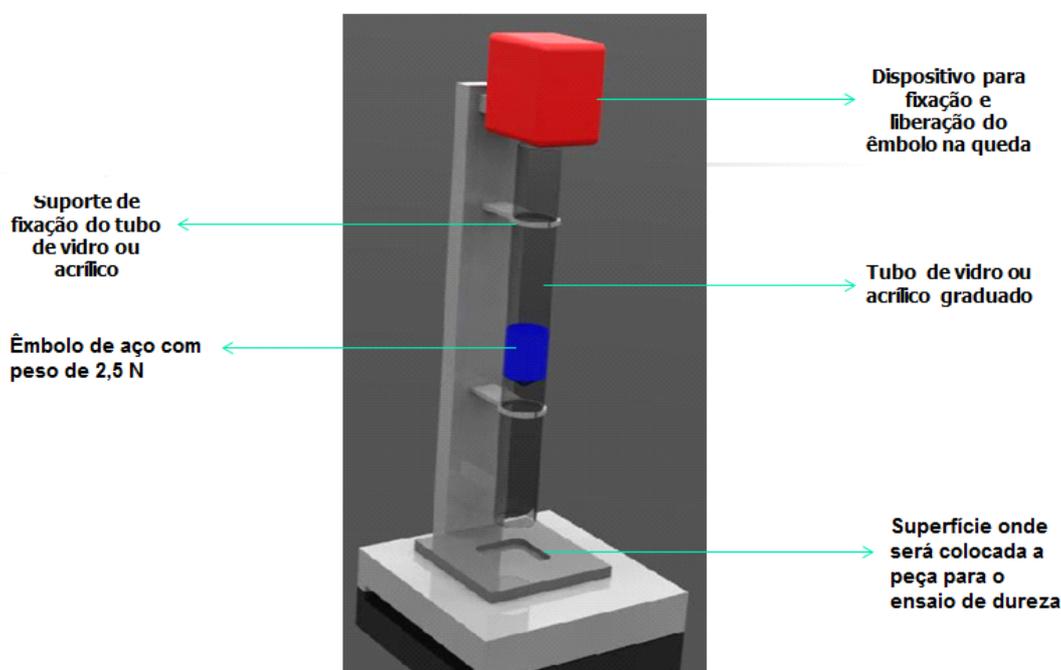


Figura 2: Primeiro desenho do durômetro que foi construído.

Após algumas adaptações, modificações e simplificações iniciais chegou-se ao protótipo final do durômetro que seria construído. A Figura 3 mostra o desenho final realizado em Solid Works.



Figura 3 - Desenho do projeto versão final.

Especificação das peças

Os componentes estruturais foram desenvolvidos para manter a estrutura da máquina estável e rígida na realização dos ensaios. Devido à baixa massa específica (2700 kg/m^3), baixo teor de oxidação e facilidade no manuseio e usinagem foi escolhido o alumínio para a construção dos componentes estruturais (base superior e base inferior) deste equipamento. A matéria prima que utilizou-se na fabricação desses componentes foi adquirida junto a fornecedores externos com recurso disponibilizado pela instituição.

Todos os componentes usinados foram fabricados utilizando os equipamentos da instituição. Dentre eles pode-se destacar o torno, fresadora CNC, furadeira e equipamentos para a ajustagem dos dispositivos. A Tabela 1 mostra os materiais usados na construção do durômetro juntamente com seu custo.



Custo do projeto	
Componente / Matéria Prima	Custo
Barra de Alumínio Trefilado 22.22x200x400mm	R\$ 76,00
Barra de Alumínio Trefilado 22.22x100x750mm	R\$ 72,00
Tubo de Acrílico Ø12X Ø10x300	R\$ 74,42
Aquisição da Norma ATSM E448	R\$ 110,00
Placa de identificação	R\$ 35,00
Total	R\$ 367,42

Tabela 1: Custo Final do projeto.

Como todo o processo de usinagem e montagem foi feito na instituição pelos acadêmicos Danilo Venturi e Daniel Deschamps não foi acrescentado no custo final do projeto a mão de obra para fabricação e tais peças e acessórios.

O suporte do tubo em acrílico foi concebido de material polimérico PU (Poliuretano). Escolheu-se esse material devido a sua baixa densidade e boa usinabilidade. A matéria prima desse dispositivo foi doada pela instituição Católica de Santa Catarina. Para sustentação do tubo de acrílico foram fabricados dois suportes, na Figura 4 é possível visualizar o desenho técnico destas peças.

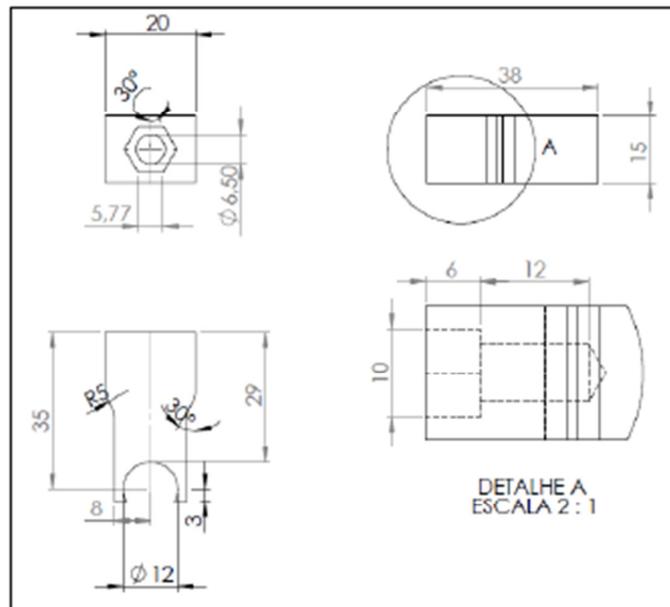


Figura 4: Desenho do suporte do tubo em PU.

O tubo de acrílico foi adquirido através de fornecedores externos, e teve-se que adequar o projeto a algumas especificações passadas pelo fornecedor (Acrílicos Santa Clara). A Figura 5 mostra o desenho do tubo de acrílico usado para fabricação do durômetro.

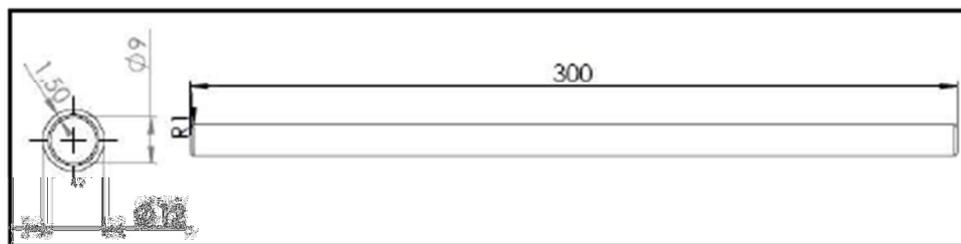


Figura 5: Desenho do tubo em acrílico.

Os êmbolos foram construídos com base nas especificações da norma E448 da ASTM. O material utilizado foi o aço 1045, e esse material foi doado pela instituição Católica de Santa Catarina. Os elementos de fixação utilizados no projeto foram todos materiais disponibilizados e encontrados em ferragens. Para a fixação da base superior e base inferior foram utilizados quatro parafusos M5x1.0.

Construção do dispositivo

Após a conclusão dos projetos em 2D e 3D, deu-se início a fabricação dos componentes usinados (base superior, base inferior e suporte do tubo). Para a fabricação dos componentes utilizou-se o Software EDGE Cam, para a geração das linhas de programação e simulação de usinagem, e com isso a integração com a máquina CNC disponível na instituição. A Figura 6

mostra uma das simulações utilizadas no software EDGE Cam, onde pode-se visualizar o suporte do tubo de acrílico fabricado em PU.

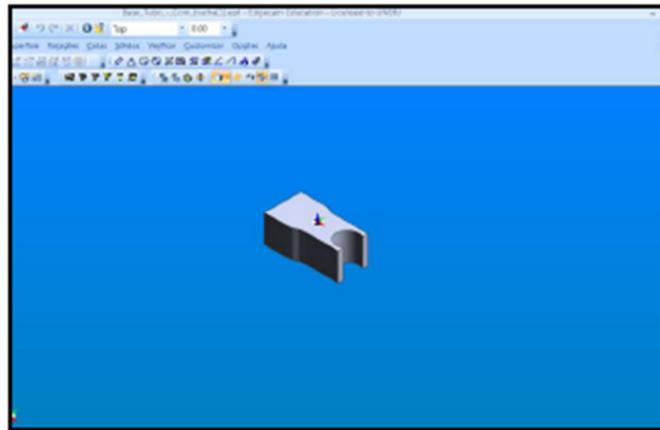


Figura 6: Simulação do suporte.

Após a realização de diversos processos de fabricação como: Faceamento, desbaste, fresamento, tornamento utilizando equipamentos disponíveis no laboratório de Processos de Fabricação existente nas dependências da Católica de Santa Catarina em Jaraguá do Sul, foi possível obter o durômetro mostrado na Figura 7.

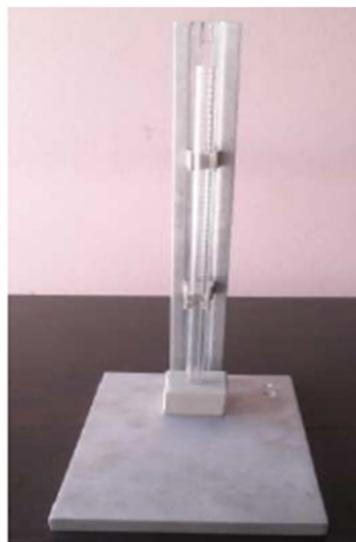


Figura 7: Durômetro por rebote fabricado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Validação e teste do dispositivo fabricado

Segundo Souza, 2008, a Equação 1 é usada para realização de ensaios de dureza por rebote.

$$HSD = K \times \frac{h_2}{h_1} \text{ (Shore D)} \quad (1)$$

Onde: HSD: Dureza (Shore D), K: Fato de proporcionalidade (shore D) , h 1: Altura de largada (mm) e h 2: Altura de rebote (mm).

Os valores de altura de largada e altura de rebote são estabelecidos durante o ensaio, e os mesmos são verificados com o auxílio da câmera digital e o adesivo graduado. O Fator de proporcionalidade k é uma constante que depende de vários fatores envolvidos no equipamento como materiais utilizados para a construção, dimensões do equipamento, tolerâncias de usinagem e montagem e a própria forma construtiva do durômetro.

Pode-se estimar o fator de proporcionalidade k através de cálculos envolvendo as dimensões, montagem, características dos materiais utilizados e demais fatores envolvidos na fabricação ou pode-se obter esse valor experimentalmente através de ensaios utilizando corpos de prova com materiais de dureza já conhecida, método esse que foi utilizado nesse projeto.

Utilizou-se nesse projeto três materiais poliméricos qualificados para a fabricação dos corpos de prova com valores de dureza especificados pelo fornecedor, plastiprene com dureza de 75 Shore D, poliuretano com dureza de 63 Shore D e nylon com dureza de 80 Shore D, todos com uma tolerância informada de ± 3 Shore D conforme mostra a Figura 8.

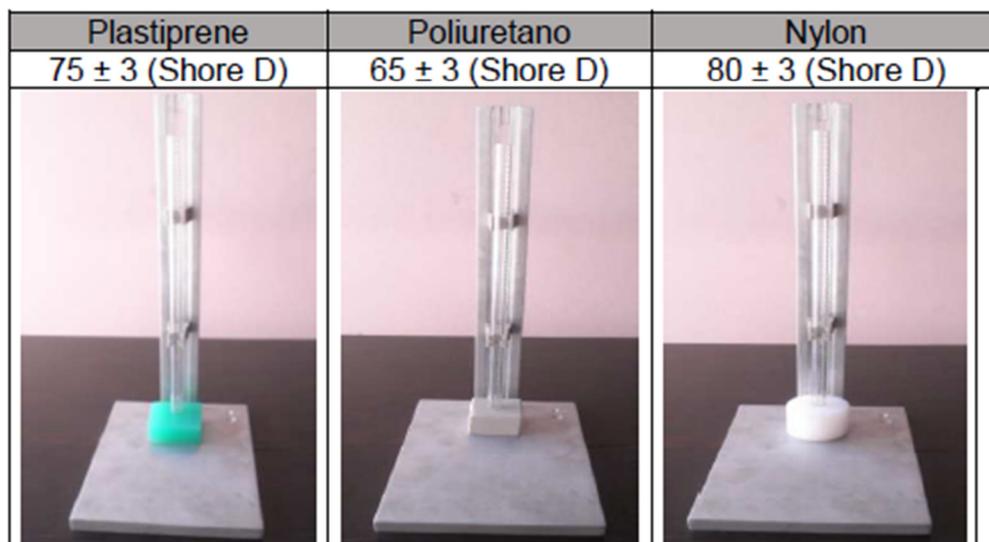


Figura 8: Dispositivo com os materiais e suas respectivas durezas em Shore D.

Conforme já mencionado anteriormente, para se obter resultados confiáveis, neste tipo de ensaio, torna-se necessário realizar 5 ensaios com cada tipo de material. Os resultados dos mesmos podem ser visualizados nas Tabelas 2, 3 e 4.



Tabela 2: Alturas de largada e rebote do material plastiprene.

Plastiprene		
N°	Altura de largada (mm)	Altura do rebote (mm)
1	290	120
2		125
3		120
4		113
5		118

Tabela 3: Alturas de largada e rebote do material poliuretano.

Poliuretano		
N°	Altura de largada (mm)	Altura do rebote (mm)
1	290	100
2		103
3		100
4		98
5		100

Tabela 4: Alturas de largada e rebote do material nylon.

Nylon		
N°	Altura de largada (mm)	Altura do rebote (mm)
1	290	140
2		125
3		148
4		125
5		130

Após a realização destes ensaios, os valores máximos e mínimos para cada um dos três tipos de material são descartados e fez-se a média dos três medidas restantes. Para o material plastiprene o valor médio encontrado para a altura de rebote foi de 119 mm. Já para o poliuretano o valor encontrado foi de 100 mm e para o nylon o valor médio encontrado foi de 132 mm. Aplicam-se os valores médios acima na equação 1 e isolando o valor de k é possível encontrar essa constante para cada um dos materiais ensaiados. A Tabela 5 mostra os resultados obtidos para os mesmos.

Tabela 5: Valores de k para os materiais poliméricos usados.

Plastiprene	Poliuretano	Nylon
K= 182 Shore D	K= 189 Shore D	K= 176 Shore D

Fazendo-se uma média entre os valores obtidos de k para os três materiais encontra-se o valor final de k igual a 182,3 Shore D. Assim é possível expressar a Equação 2 como sendo a final do durômetro construído neste trabalho.

$$HSD = 182,3 \times \frac{h_2}{h_1} \text{ (Shore D)} \quad (2)$$

Utilizou-se a equação 2, com os valores válidos de ensaio e comparou-se com os valores de dureza informados pelos fornecedores e estima-se um erro máximo de ± 8 Shore D o que significa de 10% a 13% dependendo do material a ser ensaiado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo principal construir um durômetro por rebote e o mesmo foi alcançado com êxito. Esse dispositivo ficou alocado após sua fabricação no laboratório de ensaios mecânicos da Católica de Santa Catarina em Jaraguá do Sul. Portanto esse trabalho favorece o ensino e aprendizagem dos alunos e professores, já que o mesmo poderá ser utilizado semestralmente em disciplinas relacionadas à área de materiais, nos cursos de Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Engenharia Elétrica e Engenharia Civil desta instituição.

O durômetro foi construído usando materiais com baixo valor financeiro (367,42 reais) e também utilizando-se materiais que já estavam disponíveis na própria instituição de ensino. Grande parte das atividades relacionadas à fabricação das peças e acessórios que foram utilizados no durômetro foram desenvolvidos nas dependências dos laboratórios da Católica de Santa Catarina em Jaraguá do Sul. Isto aconteceu principalmente na fase da montagem, já que os laboratórios supriram todas as necessidades de ferramentas e com o auxílio de técnicos com grande conhecimento e grande ajuda na construção das peças. Isso reforça a importância de termos laboratórios mais bem estruturados auxiliando os acadêmicos no desenvolvimento de trabalhos práticos, mesclando cada vez mais a teoria e prática.

Através dos valores obtidos e também dos valores fornecidos pelos fabricantes dos materiais ensaiados foi possível perceber que o nylon apresentou nos dois casos, o maior valor para dureza na escala shore D. Já o poliuretano, por exemplo, apresentou os menores

valores tanto o fornecido pelo fabricante do material e também o ensaiado em laboratório, demonstrando que este tipo de material é mais dúctil que os demais.

Através dos ensaios realizados foi possível encontrar o valor experimentalmente da constante de proporcionalidade k , usando-se os valores médios das alturas de rebotes dos três tipos de materiais ensaiados. Para estes materiais, o valor encontrado para este parâmetro foi de 182,3 Shore D.

Como em todo trabalho científico, nem todas as opções de estudos são efetuadas. Neste caso, onde o durômetro irá pertencer ao Centro Universitário Católica de Santa Catarina, várias trabalhos podem ser efetuados utilizando-se o mesmo. Essa possibilidade pode ser explorada pelos outros acadêmicos que tenham o mesmo interesse em desenvolver trabalhos práticos. Para enriquecer ainda mais esse artigo são feitas duas sugestões.

A primeira refere-se a incorporar um display para exibição dos resultados junto ao durômetro, sendo assim não haverá mais a necessidade de anotar os resultados de altura de rebote usando a régua graduada acoplada ao dispositivo. A segunda refere-se à utilização de sensores eletrônicos para medição da altura de rebote que não foram utilizados neste trabalho devido ao seu alto custo de implantação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo gostariam de agradecer o apoio financeiro recebido da Católica de Santa Catarina em Jaraguá do Sul e também por ceder os laboratórios e o Técnico de laboratório Dúlcio Weinfurter que auxiliou no processo de fabricação do durômetro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. 7. Ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008.

SOUZA, S.A. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**. 5 edição. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2007.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais**. 4. Ed. Rio de Janeiro: Editora Edgar Blucher, 2008.

BUILDING A DUROMETER BY REBOUND

Abstract: Among the dynamic tests, witch impression is caused by free falling of a diamond capped piston, Shore hardness in on the spotlight. In this test, the hardness amount is proportional to the consumed deformation energy to mark the test sample, and is represented by the piston rebound's reached height. Thus, ductile materials will consume more energy in the test sample deformation and the piston will reach a lower height in the rebound, indicating a lower hardness. This equipment has an easy building and low manufacturing cost. This article, based on scientific literature studies and previous experiments done in Santa Catarina Catholic University located in Jaraguá do Sul, propones the construction and practice demonstration of the Shore hardness rebound unit's hardness Shore.

Keywords: Dynamic tests, Shore hardness, rebound, construction.