

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO UHMWPE E ACRÍLICO ATRAVÉS DE ENSAIO DE TRAÇÃO

Daniele Buytendorp Bizarro¹, danielebizarro@gmail.com

Fabiano Pagliosa Branco¹, pagliosa@gmail.com

Heliódório Augusto Alves Queiroz¹, heliodorio.queiroz2@hotmail.com

Leandro Elias Basmage Pinheiro Machado¹, leandro.basmage@gmail.com

¹Universidade Católica Dom Bosco, Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário, Campo Grande - MS, 79117-900.

Resumo: O trabalho consistiu no estudo sobre ensaio de tração em dois diferentes materiais poliméricos, o UHMWPE (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular) e o acrílico (Polimetil-metacrilato – PMMA). O objetivo foi determinar o Módulo de Elasticidade e a Tensão de Escoamento de cada um destes polímeros através de ensaios de tração após sua fabricação em corte a laser e comparar os resultados com os valores apresentados por diferentes fabricantes. Para isso, foram realizados os cortes dos corpos de prova e os ensaios de tração seguindo a Norma ASTM D368-14. A partir dos resultados obtidos nos ensaios, plotaram-se os gráficos correspondentes de Tensão versus Deformação para cada material e assim foram calculadas a Tensão de Escoamento e Módulo de Elasticidade, que são de $12,7 \pm 4,5 \text{ MPa}$ e $315 \pm 38 \text{ MPa}$ para o UHMWPE e de $62,5 \pm 3,7 \text{ MPa}$ e $1925 \pm 22 \text{ MPa}$ para o Acrílico. Através das análises dos resultados e das comparações com os valores de outros fabricantes destes materiais, foi possível observar a vulnerabilidade das propriedades dos polímeros de acordo com seu processamento, além da influência de sua anisotropia e do ajuste dos parâmetros da máquina de ensaio.

Palavras-chave: polímeros, ensaio mecânico, módulo de elasticidade, tensão de escoamento.

1. INTRODUÇÃO

A busca por maior competitividade e lucro nas empresas, visando atender as necessidades dos mercados consumidores, levou ao desenvolvimento de vários setores das indústrias, dentre eles, o setor de materiais. Cada vez mais se busca o desenvolvimento de materiais que agreguem boas propriedades a custos baixos e, além disto, materiais que atendam às exigências específicas de uso (Seixas, 2013).

Neste contexto, os polímeros são materiais versáteis desenvolvidos para atender aos mais diversos tipos de produtos e utilidades. Esta classe apresenta uma grande variedade de tipos de materiais com as mais diversas propriedades, tendo como grande atrativo a possibilidade de alterar suas propriedades de acordo com sua aplicação, uma vez que não são produtos naturais e sim, sintetizados. Dois tipos de polímeros que merecem destaque são o UHMWPE (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular) e o Acrílico.

O UHMWPE é um polietileno de alta densidade, o que lhe confere melhores propriedades físicas, químicas e mecânicas, como alta resistência química e à abrasão. Além da não toxicidade e excelente resistência química do polietileno, este termoplástico proporciona alta resistência ao impacto e baixo coeficiente de atrito. Estas características lhe proporcionam alto desempenho quando utilizado em guia para correntes, acoplamentos, trilhos de máquinas, isoladores de ruído, mancais, pistões, polias, rolamentos, roscas sem fim, silenciadores, apoios, batentes e válvulas, próteses ortopédicas entre outras (Polistar, 2014; Brasken, 2015; Vick, 2015).

O Acrílico é um polímero que se assemelha ao vidro, porém tem propriedades que o torna superior a este, como por exemplo, ser maior resistência ao impacto, melhor isolante e mais leve. Ele é um termoplástico rígido, resistente a intempéries, a quebra e que pode ser facilmente serrado, lixado ou modelado, tendo uma ampla aplicação em artefatos decorativos, barreiras acústicas, suportes, banheiras, luminárias, aquários, por exemplo (Acrílicos Brasil, 2015; ADI-Atelier, 2015).

Com o propósito de serem obtidas as propriedades mecânicas destes materiais, realizam-se ensaios laboratoriais que, em geral, são normatizados. O principal ensaio realizado para o levantamento das características mecânicas é o ensaio de tração, que consiste na aplicação de uma força uniaxial de tração em um corpo de prova especificado, medindo-se, simultaneamente, o alongamento deste e a força de tração a ele aplicada (Hibbeler, 2010).



Figura 3. Corte a laser dos corpos de prova.



(a)



(b)

Figura 4. Corpos de prova de (a) UHMWPE e de (b) Acrílico prontos para ensaio.

Os ensaios foram todos realizados no laboratório de Metrologia da Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), utilizando uma máquina de tração (Marca: PANTEC, modelo: VERSAT 20K) com célula de carga com capacidade de 20kN, mostrada na Fig. 5.



Figura 5. Máquina de tração PANTEC VERSAT 20K.

Foram ensaiados corpos de prova de UHMWPE e de acrílico, que após serem fixados à máquina foram inseridas as seguintes informações no *software* para realizar o ensaio: força máxima do ensaio, deslocamento máximo do cabeçote, velocidade do ensaio, a densidade do material e as dimensões principais do corpo de prova. Dessa forma, a primeira parte dos ensaios consistiu em fazer a calibração da máquina a fim de estabelecer os parâmetros ideais de força e velocidade conforme as características de cada material.

Os resultados dos ensaios são apresentados por meio de um relatório que contém o gráfico de Força (N) versus Alongamento (mm), os dados técnicos do lote de corpos de prova, a força máxima, a resistência máxima, a deformação linear, deformação específica, deformação permanente, patamar de escoamento e módulo elástico. Além disso, nele são informados alguns parâmetros de ensaio como a velocidade do ensaio, o sentido da força, a célula de carga usada e o número de ensaios. Neste trabalho são utilizados somente os gráficos de Força (N) versus Alongamento (mm) para o levantamento das propriedades mecânicas do UHMWPE e do Acrílico.

Os valores de tensão e deformação foram calculados, através da Eq. 1 para tensão e da Eq. 2 para deformação.

$$\sigma = \frac{F}{A_f} \quad (1)$$

Onde F é a força correspondente a tração no corpo de prova, e A_f é sua área da seção transversal, que foi de 12,72mm².

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

Na Eq. 2 Δl é o alongamento, correspondente ao eixo das ordenadas do gráfico, e l_0 o comprimento inicial entre as garras da máquina de, no caso 25,4 mm.

O módulo de elasticidade, dado pela tangente da reta, foi calculado pela inclinação de reta correspondente a região elástica, determinada pela Eq. 3.

$$E = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad (3)$$

A tensão de escoamento (σ_e) foi determinada traçando-se uma reta paralela à da região elástica, distante de 0,2% da deformação na ruptura e rebatendo para o eixo da tensão no ponto onde cruza com a curva do gráfico.

Para todos os resultados encontrados foram calculados as médias das propriedades mecânicas, os desvios padrão e o coeficiente de variação, afim de comparar as propriedades médias de forma mais adequada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Calibração para os ensaios

A calibração teve por objetivo definir os parâmetros de velocidade de ensaio, a força máxima e o deslocamento máximo. A Tabela 1 apresenta os parâmetros para realização dos ensaios.

Tabela 1. Dados para o ensaio do UHMWPE e Acrílico.

Material	UHMWPE	Acrílico
Força máxima do ensaio	500 N	1400 N
Deslocamento máximo do cabeçote	80 mm	4 mm
Velocidade do ensaio	10 mm/min	1 mm/min
Densidade do material	0,93 kgf/dm ³	1,19 kgf/dm ³
Comprimento do corpo de prova	63,5 mm	63,5 mm
Espessura do corpo de prova	4 mm	4 mm
Peso do corpo de prova	1,5576 g	2,00705 g

Estes parâmetros foram importantes para a obtenção do gráfico força versus deslocamento. No caso do UHMWPE, conforme este se deforma, surgem novas discordâncias, mas sendo um material dúctil e auto lubrificante devido a adição de grafite em sua cadeia polimérica, ele se auto lubrifica eliminando tais discordâncias e sendo necessário cada vez mais força para seu rompimento. Esta propriedade lhe confere deformações acima de 200% de seu comprimento inicial e por isso o deslocamento máximo do cabeçote deve ser ampliado. Já o Acrílico é um material frágil e assim deve-se definir uma pequena faixa de alongamento para ampliar o gráfico e melhorar sua resolução (Polistar, 2014; Acrílicos Brasil, 2015).

3.2. Resultado dos ensaios validados

Um exemplo dos gráficos resultantes dos ensaios, para o UHMWPE e para o acrílico, é mostrado na Fig. 6 e na Fig. 7, respectivamente. Vale ressaltar, que os gráficos fornecidos pelo programa são de Força (N), no eixo das abcissas e o Alongamento (mm) no eixo das ordenadas e não, o gráfico típico para ensaio de matérias de Tensão (MPa) versus Deformação.

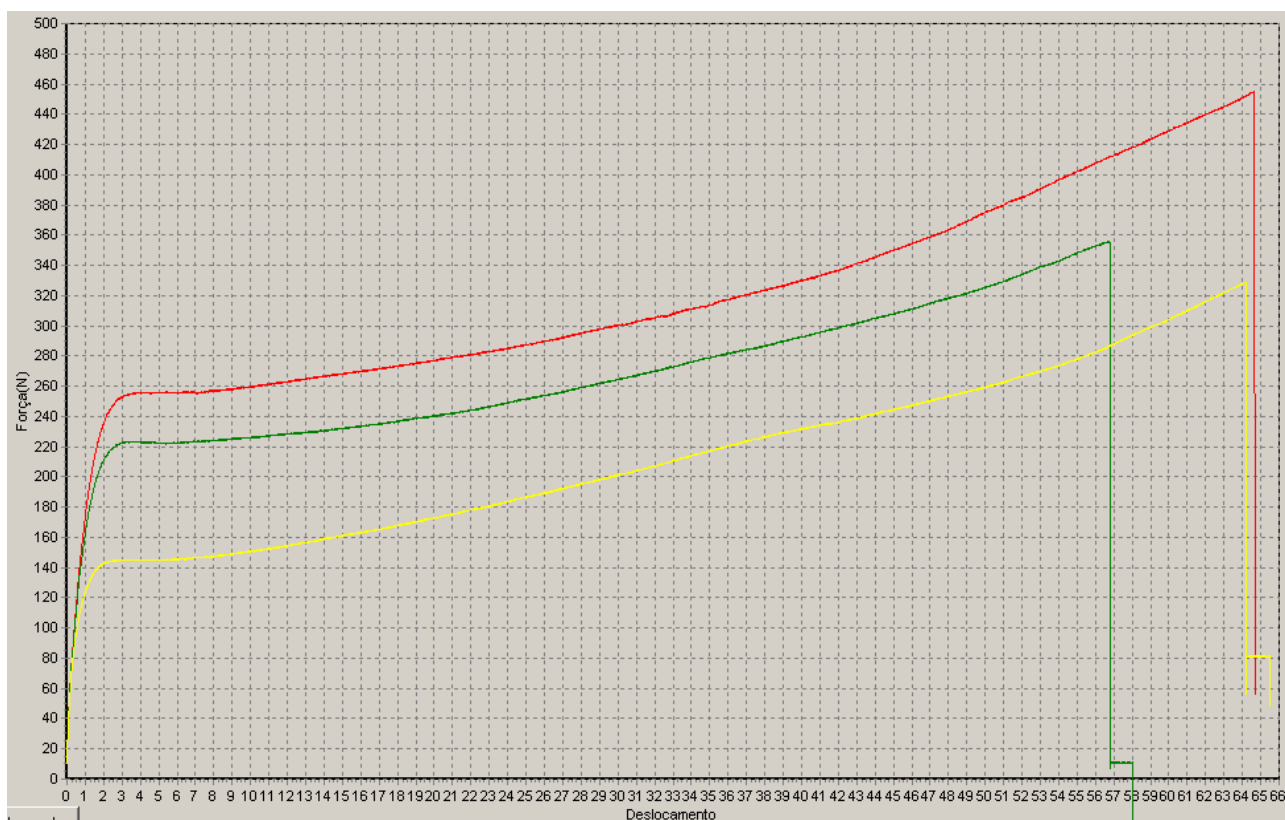


Figura 6. Exemplo do gráfico fornecido pelo software da máquina de tração referente ao ensaio do UHMWPE, eixos de força (N) x deslocamento em (mm).



Figura 7. Exemplo do gráfico fornecido pelo software da máquina de tração referente ao ensaio do Acrílico, eixos de força (N) x deslocamento em (mm).

Através da análise dos gráficos das Fig. 6 e 7, foi possível observar que o UHMWPE é um polímero dúctil devido à grande deformação e o acrílico um polímero frágil, pois este último não apresenta região plástica como já esperado e

descrito no item 3.1. Foi observado um alongamento do UHMWPE até sua ruptura, o qual tem seu maior valor de 64,5mm, isso resulta em um alongamento de aproximadamente 260%, um valor notavelmente alto e que condiz com os alongamentos fornecidos pelos fabricantes, que é de maior que 200%, segundo os fabricantes Polistar (2014), Brasken (2015) e Vick (2015). Essa característica também foi observada no aspecto dos corpos de prova após o ensaio conforme a Fig. 8a.

No Acrílico, o comportamento de um polímero frágil fica evidente ao se observar o gráfico da Fig. 7, que apresenta região elástica e ruptura apenas. Esse comportamento também foi observado nos corpos de prova após ensaio como mostrados na Fig. 8b.

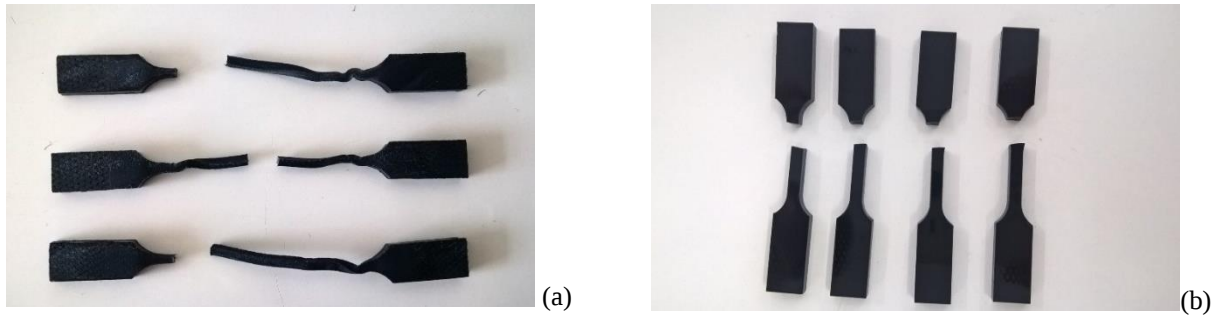


Figura 8. (a) Corpos de prova de UHMWPE após o ensaio com grande deformação elástica e (b) corpos de prova de Acrílico praticamente sem deformação.

Como o gráfico gerado no ensaio foi o gráfico de força versus deslocamento e para a determinação das propriedades usa-se tensão e deformação, tais pontos do gráfico foram calculados para os valores correspondentes de tensão e de deformação que permitiu determinar o Módulo de Elasticidade e a Tensão de Escoamento. O comportamento do gráfico σ_e (MPa) versus ε (Adimensional), correspondentes, para o UHMWPE e Acrílico são mostrados, respectivamente, nas Fig. 9 e Fig. 10.

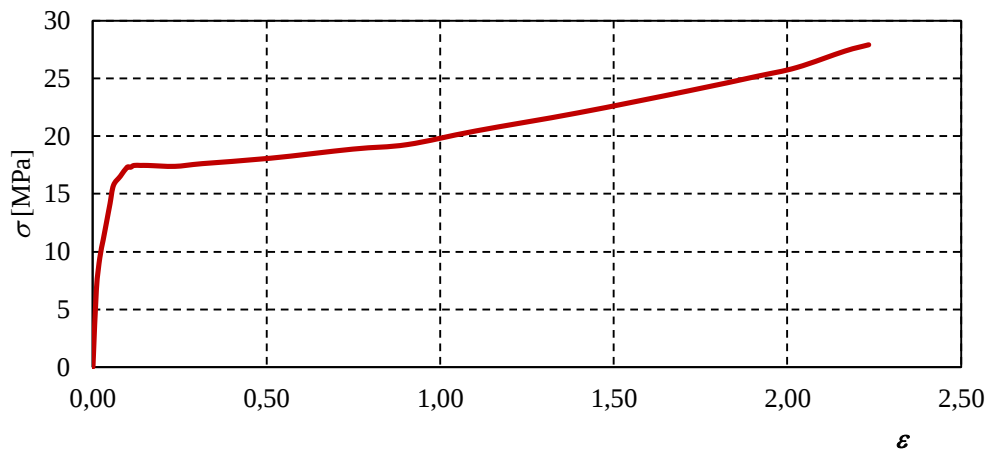


Figura 9. Comportamento do gráfico Tensão versus Deformação do UHMWPE.

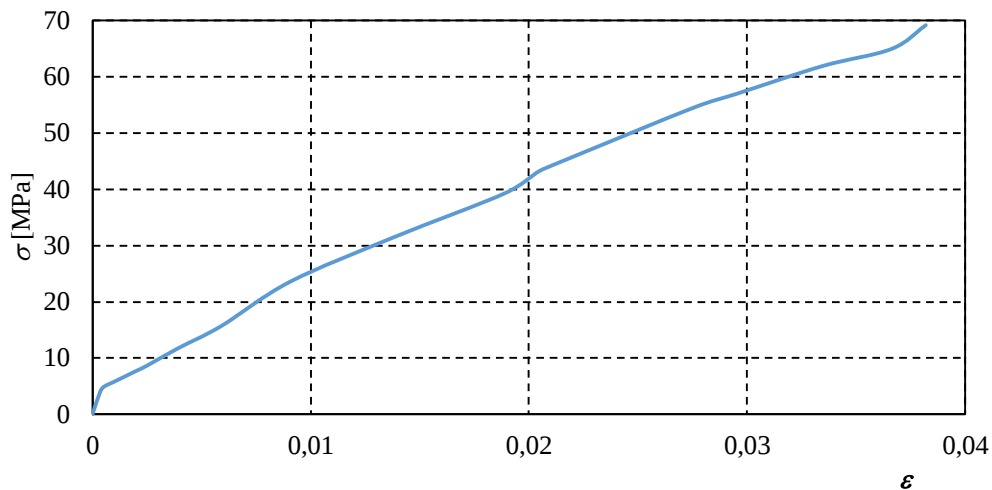


Figura 10. Gráfico Tensão versus Deformação do Acrílico.

Os valores médios determinados do Módulo de Elasticidade (E) e Tensão de Escoamento (σ_e) são apresentados na Tab. 2 para o UHMWPE e para o acrílico com seus respectivos desvios padrão.

Tabela 2. Propriedades do UHMWPE e do Acrílico determinados a partir dos ensaios a tração.

Material	σ_e [MPa]	E [MPa]
UHMWPE	12,7±4,5	315±38
Acrílico	62,5±3,7	1925±22

Quando se observa os dados calculados para as propriedades dos materiais ensaiados, pode-se verificar um valor alto do desvio padrão dos resultados indicando que as propriedades medidas variaram bastante a cada ensaio com coeficientes de variação de 35,4% para a Tensão de Escoamento e 12% para o Módulo de Elasticidade do UHMWPE, enquanto que para o Acrílico os valores foram de 6% para a Tensão de Escoamento e 1,15% para o Módulo de Elasticidade. Dessa forma, foi possível observar que os corpos de prova de acrílico apresentaram comportamento mais homogêneo do que os corpos de prova de UHMWPE.

As Tab. 3 e 4 apresentam os valores de Tensão de Escoamento e Módulo de Elasticidade, para cada tipo de material ensaiado, segundo diferentes fabricantes para efeito de comparação.

Tabela 3. Propriedades do UHMWPE segundo diferentes fabricantes.

Fabricante	σ_e [MPa]	E [MPa]
Vick	20	680
Ensinger	17	1500
Incomplast	20	1500

Tabela 4. Propriedades do acrílico segundo diferentes fabricantes.

Fabricante	σ_e [MPa]	E [MPa]
Acrílicos Brasil	69	2800
Vick	65	3300
Belmetal	62	3217

Tomando como referência os valores fornecidos pelos fabricantes, pode-se observar uma grande diferença entre os valores de propriedades determinados nos ensaios quando comparado aos valores de propriedades fornecidos pelos fabricantes, em todos os ensaios houve uma redução dos valores das propriedades mecânicas. As maiores diferenças foram no módulo de elasticidade do UHMWPE que chegaram a 80%, já para a tensão de escoamento as diferenças foram de até 36,5%. Quanto ao acrílico, as diferenças entre os valores calculados e os fornecidos pelos fabricantes foram menores, de 10% para a tensão de escoamento e de 40% para o módulo de elasticidade.

As propriedades dos polímeros dependem do tamanho médio e da distribuição de suas cadeias poliméricas, o que os torna bastante anisotrópicos (Akcelrud, L., 2007). Nesse trabalho não houve o cuidado na fabricação dos corpos de prova

quanto a orientação da posição da chapa de onde foram extraídos, impossibilitando verificar se as diferenças nos valores das propriedades foram influenciadas pela anisotropia do material.

Essas discrepâncias obtidas nos ensaios quando comparados aos fornecidos por outros fabricantes podem sugerir que, diferentemente dos metais, que possuem propriedades bem definidas, as características mecânicas e físicas dos polímeros são suscetíveis ao seu processamento, tanto às condições térmicas, quanto microestruturais, já que uma pequena alteração em sua composição química pode alterar sensivelmente as propriedades finais desse tipo de material.

Como os corpos de prova foram cortados à laser, suas propriedades provavelmente foram alteradas devido a temperatura de corte da máquina à laser. Claramente o UHMWPE sofreu uma influência maior ao processo de fabricação do que o acrílico, já que suas propriedades medidas se afastaram bastante das fornecidas pelos fabricantes.

4. CONCLUSÃO

Os resultados dos ensaios mecânicos realizados permitem concluir que as propriedades mecânicas medidas foram inferiores àquelas fornecidas por fabricantes desses materiais. Os resultados sugerem que a influência da temperatura do corte a laser alterou significativamente as propriedades mecânicas dos polímeros ensaiados, reduzindo os valores dessas propriedades nos dois materiais. O UHMWPE foi o polímero que sofreu a maior influência do processo de fabricação, já que suas propriedades medidas se afastaram mais das fornecidas pelos fabricantes. Entretanto, deve-se realizar ensaios mais específicos medindo-se a temperatura do material durante o processo de fabricação e sua influência nas propriedades mecânicas.

Ao analisar os resultados determinados em cada ensaio, pode-se verificar um alto coeficiente de variação nos valores médios indicando que as propriedades medidas variaram bastante a cada corpo de prova, provavelmente devido a anisotropia do material e ao processo de fabricação desses corpos de prova. Observou-se o comportamento de materiais dúcteis, para o UHMWPE, e de materiais frágeis para o acrílico, o que está de acordo com as curvas características obtidas para cada material.

Foi possível observar que um mesmo tipo de polímero pode ter diferentes propriedades dependendo do processamento em sua fabricação e, conseqüentemente, pode não desempenhar adequadamente sua função ao serem estas alteradas. Por outro lado, essa característica pode ser considerada um aspecto positivo dos materiais polimérico, pois lhe confere a capacidade de manipulação de suas propriedades e uma grande versatilidade em projetos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos familiares pelo apoio e paciência ao longo deste período do trabalho e à empresa Path's Art's que realizou o corte e confecção dos corpos de prova e a empresa Riberman por ceder os materiais.

6. REFERÊNCIAS

- Ashby, M. F., David, R. H. J. **Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures, Processing and Design**, 2ª ed., Oxford: Butterworth-Heinemann, pp 384, 1998.
- Acrílicos Brasil, **Propriedades físicas das chapas de acrílico extrudadas**, disponível em: < <http://www.acrilicosbrasil.com.br/pdf/propriedades-chapas-extrudadas.pdf>>. Acesso em 07 dez. 2015.
- ADI-Atelier de Impressão, **Cuidado com metacrilatos**, disponível em < http://atelierdeimpressao.com.br/site/wp-content/uploads/2011/09/cuidados_metacrilatos.pdf>. Acesso em 07 dez. 2015.
- ASTM – American Society for Testing Materials. **ASTM D638 – 14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**, 2014.
- Belmetal, **Características do Acrílico**, disponível em: <<http://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/belmetal/chapas-acrilico.pdf>>. Acesso em 24 nov. 2015.
- Brasken, **Polietileno de Ultra-alto Peso Molecular**, disponível em: <<http://www.ute.com.br/pt/oquee.asp>>. Acesso em: 22 nov. 2015.
- Callister Jr., W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares, 5ª ed., Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, pp 705. 2002.
- Enginger, **Tecafine UPE UHMW natural**, disponível em: < http://www.ensinger.com.br/upload/download/pt/arquivo_MzQ214146947280.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2016.
- Akcelrud, L., **Fundamentos da ciência dos polímeros**, 1ª. ed, Barueri, SP: Manule, pp 308. 2007.
- Incomplast, 2016. Polietileno UHMW , disponível em: < <http://www.incomplast.com.br/polietileno-uhmw>>. Acesso em: 22 mar. 2016.
- Seixas, M. V. S, **Materiais Poliméricos para Contato com Etanol em Condições Agressivas**, dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.
- Vick, Acrílico - **Chapas Cast e Extrudadas: Datasheet**, disponível em: < http://www.vick.com.br/vick/novo/datasheets/datasheet-acrilico_chapas_cast_e_extrudadas.pdf>. Acesso 28 de mar. 2016.
- Vick, **UHMW Datasheet**, disponível em: < <http://www.vick.com.br/vick/novo/datasheets/datasheet-uhmw.pdf>>. Acesso 22 de nov. 2015.
- Polistar, **UHMW**, disponível em: < <http://www.polistarbrasil.com.br/index.php/uhmw>>. Acesso

01 de dez. 2015.

Hibbeler, R. C. **Resistencia dos Materiais**, LTC, tradução de Arlete Simille Marques, 7ª ed., São Paulo: Pearson, pp 637, 2010.

Vedapar, Vedações Paraná Ltda, **Acrílico**, disponível em: < <http://www.vedapar.com.br/acrilico.html> > . Acesso em 07 dez. 2015.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF UHMWPE AND ACRYLIC THROUGH TENSILE TEST

Daniele Buytendorp Bizarro¹, danielebizarro@gmail.com

Fabiano Pagliosa Branco¹, pagliosa@gmail.com

Heliódório Augusto Alves Queiroz¹, heliodorio.queiroz2@hotmail.com

Leandro Elias Basmage Pinheiro Machado¹, leandro.basmage@gmail.com

¹Universidade Católica Dom Bosco, Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário, Campo Grande - MS, 79117-900

Abstract. The work was the study of tensile test in two different polymer materials, UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) and Acrylic (polymathic methacrylate - PMMA). The goal was to determine the elastic modulus and the yield stress of each of these polymers by tensile tests and compare the results with the respective values presented by different manufacturers. For this, are performed the cut of specimens and tensile tests in the laboratory following the ASTM D368-14 standards. Based on the test's results, were plotted the corresponding graphics tension versus deformation for each material and so were calculated their yield stress values and modulus of elasticity, which are $12.7 \pm 4,5\text{MPa}$ and $315 \pm 38\text{MPa}$ for UHMWPE and $62.5 \pm 3,7\text{MPa}$ and $1925 \pm 22\text{MPa}$ for acrylic. Through the analysis of results and comparisons with the values of other manufacturers of these materials, it was possible to observe the vulnerability of the properties of polymers according to their processing, and the influence of their anisotropy and the adjustment of the testing machine parameters.

Keywords: polymers, mechanical testing, tensile modulus, yield stress