

# DESENVOLVIMENTO DE RODAS DE POLIURETANO E SILICONE PARA ROBÔS

Carolina Diniz Machado <sup>1</sup>; Guilherme W. Lebrão <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

<sup>2</sup> Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

**Resumo.** *O combate de robôs é uma competição estudantil, realizada anualmente entre inúmeras instituições de ensino, e tem como objetivo permitir que os alunos apliquem os conhecimentos obtidos nas diversas ciências de forma lúdica, possibilitando observar na prática os resultados dos seus conhecimentos direcionados ao projeto e construção de robôs que devem competir em diversas modalidades e desafios. Um dos desafios está relacionado a tração e direcionamento do conjunto que é realizada pelas rodas. Estas rodas são feitas de diversos materiais e neste estudo propôs-se investigar qual seria o material mais indicado para a confecção das mesmas. Optou-se pelo uso de poliuretano e silicone como material para confecção das rodas, por apresentar uma grande resistência a abrasão e alto coeficiente de atrito. Um dos maiores desafios envolvem uma característica peculiar do poliuretano já que, apesar de dispor de muitas características positivas, durante sua síntese ocorre a liberação de um determinado gás, proveniente da umidade presente no material, no qual acaba expandindo o PU e por consequência, deformando e danificando as propriedades do produto. Estas bolhas, por sua vez, são responsáveis por um produto mais frágil, inadequado para tal finalidade (rodas) e de má aparência. De modo a buscar uma melhoria para o desenvolvimento deste, encontra-se o desafio de determinar um novo meio de fabricação para que se possa extinguir a liberação de gases, e então obter um produto mais sofisticado, eficaz e de longa vida. Em segundo plano, o silicone também pode ser utilizado para o desenvolvimento de rodas para robôs de diversas categorias, respeitando suas necessidades físicas como maleabilidade, resistência, entre outras. Este é um material de fácil manuseio e de grande utilidade, sendo então muito indicado para a finalidade proposta nesta pesquisa.*

## Introdução

Ano após ano, o poliuretano vem tomando seu lugar no âmbito mundial devido à sua grande versatilidade em relação a capacidade de produção de materiais distintos. No Brasil, por exemplo, anualmente é produzido cerca de 250 mil toneladas de poliuretano e devido à sua grande influência no PIB brasileiro, a tendência é de que a produção só aumente.

O poliuretano foi criado em 1937 por Otto Bayer, químico alemão que impulsionou significativamente o desenvolvimento tecnológico na Alemanha e consigo trouxe um lucro de bilhões de dólares para o mundo atual. Sem passar despercebido, nota-se que cada vez mais o poliuretano encontra-se presente em nosso dia-a-dia. Pode-se citá-lo na área de saúde – cadeira de rodas; indústria moveleira – poltronas, colchões; construção civil – isolamento térmico; esportes e lazer – rodas de patins, skates; entre outros. Do ponto de vista químico, o PU é um material famoso por apresentar configurações moleculares das mais diversas possíveis, o que explica sua facilidade para adequar-se a materiais totalmente diferentes, como citado acima.

Desta forma, apesar da grande contribuição do poliuretano, a busca por novas tecnologias é um desafio que visa o desenvolvimento mais a fundo deste material a partir de novos mecanismos de síntese, possibilitando assim obter um produto mais eficaz, com durabilidade maior e que proporcione uma melhoria para o produto final.

Através dos estudos e experimentos realizados neste projeto de pesquisa, pretende-se

determinar um processo de fabricação eficaz para poliuretano. Isto ocorre devido a necessidade de extinguir do produto final qualquer formação de gás possível, responsável por criar bolhas e expandir o material, danificando-o. Para tanto, serão estudados e desenvolvidos métodos que apresentem viabilidade e resultados desejados.

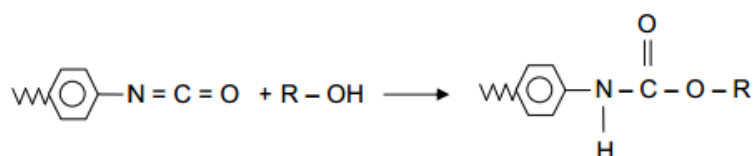
Além das rodas de poliuretano, também serão produzidas rodas de silicone, de modo a atender as necessidades físicas para cada categoria de robô, variando resistência, dureza, entre outros, para que sejam utilizadas nos robôs como uma segunda alternativa.

## Materiais e Métodos

### 1. Poliuretano

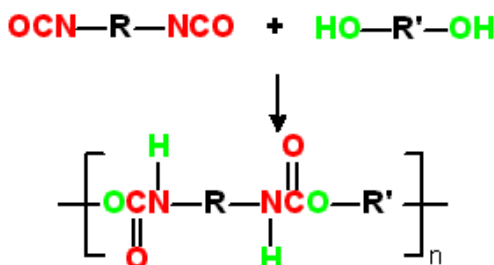
Poliuretanos são polímeros resultantes de uma reação entre um poliol (-OH) com um isocianato (-N=C=O) que, quando em contato com catalisadores adequados, formam a ligação uretânica, como na equação abaixo:

Figura 1 – Formação da ligação uretânica<sup>1</sup>

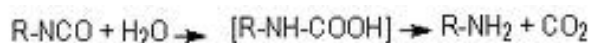


Sabendo que o poliuretano é formado pela junção em cadeia deste grupo, segue abaixo a representação da síntese deste material:

Figura 2– Esquema síntese de um poliuretano<sup>2</sup>



Além das reações apresentadas anteriormente, também podem ocorrer reações paralelas, sendo esta a reação do isocianato com água, ocasionando na liberação do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e na expansão do polímero.



De acordo com a proposta do trabalho, devem ser estabelecidos métodos que pretendem prevenir este tipo de reação. Para tanto, pensou-se em fazer uso do equipamento de ultrassom que, através de suas ondas emitidas, consegue eliminar as bolhas presentes no material logo após serem misturados a resina com o catalisador. A proposta a ser determinada era se apenas o uso deste equipamento extinguiu por completo a formação de bolhas, ou apenas parcialmente.

Em um teste prévio para determinar o tempo de cura do poliuretano após a mixagem dos materiais, foi registrado que o PU demorava em torno de 15 minutos para tornar-se viscoso,

<sup>1</sup> Figura extraída do site < <http://universechemistry.blogspot.com.br>>.

<sup>2</sup> Figura extraída do site < <http://universechemistry.blogspot.com.br>>.

entretanto neste nível ainda era possível sua administração. Após 30 minutos de reação, notou-se que o material apresentava uma rigidez maior, o que impossibilitava seu manuseio. Desta forma, conclui-se que os compostos após misturados tinham um tempo de 15 minutos aproximadamente para permanecerem no ultrassom. Quanto maior esse tempo, melhor era a qualidade do poliuretano final formado, uma vez que uma maior quantidade de bolhas era eliminada. Durante os testes realizados, observou-se que o poliuretano que ficava em contato com o ar durante seu tempo de cura apresentava em sua superfície aberta uma grande quantidade de bolhas formada. Isto ocorre pois este material em contato com o ambiente, absorve umidade e gera uma reação secundária, na qual resulta na formação do subproduto gás carbônico, que fica retido no PU através das bolhas. Por este motivo, todos os testes foram feitos com moldes fechados.

Além de tentar prevenir a expansão do material por consequência da formação de gases, foram realizados testes de tração que mediram a resistência deste, uma vez que a característica de resistência é essencial para a finalidade proposta das rodas, bem como sua dureza.

## **2. Silicone**

Nesta pesquisa, escolheu-se trabalhar também com o silicone para a confecção das rodas, uma vez que este se adequa às necessidades dos robôs de categoria de peso leve, como sumô, entre outros. Uma das características positivas deste material envolvem sua capacidade elevada de aderência ao chão, aspecto muito significativo no combate do sumô autônomo, uma vez que este precisa fixar-se ao solo.

Foram realizados experimentos com objetivo de analisar a influência do catalisador sob a dureza final do material. A quantidade de catalisador empregada nas rodas respeita a faixa de 0,2 a 2% em relação a uma determinada massa de silicone. O teste de dureza foi realizado através de um equipamento nomeado durômetro, composto por uma agulha que penetra o material dando como resultando sua dureza na escala Shore A, de maneira proporcional a perfuração.

Para a realização das rodas, criou-se um molde de alumínio no qual continha uma capacidade para quatro destas. Cada uma delas contém um cubo, objeto utilizado no interior da roda, desenhado e desenvolvido para fazer a conexão com o eixo do motor. Para que o silicone não grudasse na parede de alumínio, foi utilizado um desmoldante, QZ11 Huntsman, responsável por facilitar a remoção do molde, de modo a evitar imperfeições ou rasgos na superfície da roda.

Após desenvolvidas as rodas de silicone que continham apenas silicone e catalisador, decidiu-se criar uma nova roda que continha 20 % de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), como meio de comparação. Este novo componente acrescentado a mistura dá a roda uma dureza maior, entretanto testes de tração foram realizados para ver se este mesmo também proporcionava a roda uma resistência maior à resistência obtida com a mistura inicial, para então determinar qual destas duas opções seria mais viável para a utilização em robôs de combate.

## **Resultados e Discussões**

### **1. Poliuretano**

Alguns testes prévios foram realizados entretanto não obtiveram um bom resultado, ocasionando em um poliuretano repleto de bolhas. Para tanto, resinas de qualidade maior foram encomendadas para novos testes.

Através da utilização de uma resina de melhor qualidade, foi gerado um poliuretano na proporção de 1:1 de catalisador e de resina. Após a mistura destes dois componentes, gerou-se dois corpos de prova distintos, sendo que um deles baseava-se apenas na mistura, e o outro, na mistura juntamente ao ultrassom. Esta diferenciação foi realizada pois novamente ocorreu a

formação de bolhas, entretanto em menor quantidade que anteriormente. Para analisar o efeito do uso do ultrassom no polímero, que ajuda na extinção das bolhas, foram realizados testes de ruptura com os resultados a seguir:

### 1.1. Ensaio de Tração

✓ Sem ultrassom:

Tabela 1 – Valores do ensaio de tração com corpo de prova sem ultrassom.<sup>3</sup>

Amostra	Largura (mm)	Espessura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Comprimento Final (mm)	Alongamento em 50 mm (%)
1	12,65	3,25	41,11	16,77	4,00	189,00	278,00
2	12,60	2,65	33,39	16,72	4,91	160,00	220,00
3	12,75	3,00	38,25	17,64	4,52	173,00	246,00
4	12,95	2,90	37,56	19,66	5,13	187,00	274,00
Média				17,70	4,64	177,25	254,50

✓ Com ultrassom:

Tabela 2 – Valores do ensaio de tração com corpo de prova com ultrassom.<sup>4</sup>

Amostra	Largura (mm)	Espessura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Comprimento Final (mm)	Alongamento em 50 mm (%)
1	12,75	2,90	36,98	22,01	5,84	195,00	290,00
2	12,60	2,95	37,17	20,36	5,37	193,00	286,00
3	12,65	3,25	41,11	25,55	6,09	190,00	280,00
4	13,05	3,25	42,41	24,59	5,69	187,00	274,00
Média				23,13	5,75	191,25	282,50

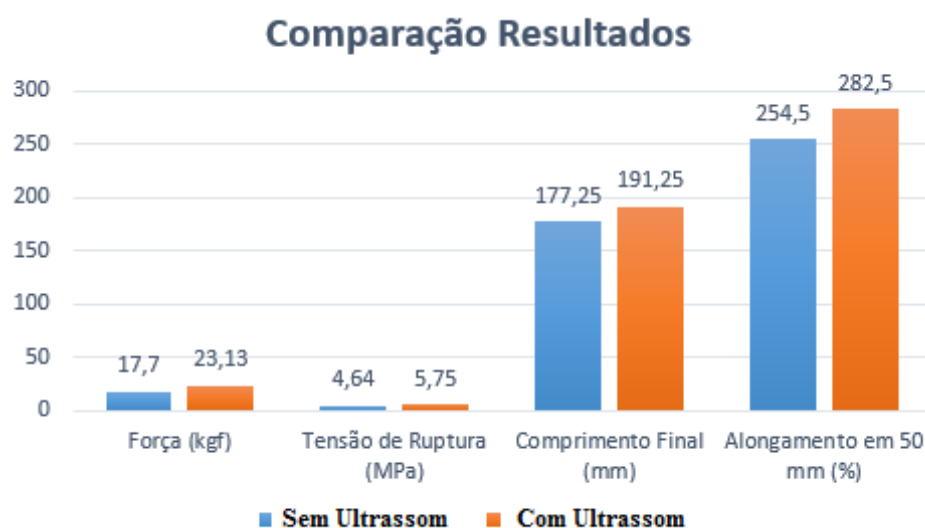
Como era de se esperar, a utilização do ultrassom e portanto a redução das bolhas presentes no material, dá a ele uma resistência maior. A força necessária para romper o corpo de prova sem ultrassom foi menor do que a força necessária para romper o corpo com o ultrassom, bem como sua tensão de ruptura.

Especificações do ultrassom utilizado: marca Ultra Cleaner de modelo 750A e frequência de 25 kHz.

<sup>3</sup> Tabela obtida através dos resultados dos ensaios de tração.

<sup>4</sup> Tabela obtida através dos resultados dos ensaios de tração.

Figura 4 – comparação dos resultados do teste de tração.



A dureza final do poliuretano produzido foi dada como 85 Shore A, através da medição através do equipamento durômetro.

## 2. Silicone

A roda de silicone apresentou ótimo estado final e com um bom desempenho para serem utilizadas nos robôs de combate peso leve.

Observou-se que o catalisador alterava significativamente a dureza final da roda, além de acelerar seu tempo de cura. Para tanto, obteve-se as durezas listadas abaixo:

Tabela 3 – Valores da dureza dos corpos de prova variando quantidade de catalisador.<sup>5</sup>

Porcentagem de Catalisador (%)	Dureza Primeiro teste (Shore A)	Dureza Segundo teste (Shore A)	Dureza Terceiro teste (Shore A)	Dureza Média (Shore A)
0,2	5,00	5,00	5,00	5,00
0,4	7,00	7,00	7,00	7,00
0,6	13,0	13,0	13,0	13,0
0,8	13,0	13,0	14,0	13,3
1,0	19,0	18,0	18,0	18,3
1,2	26,0	27,0	27,0	26,7
1,4	27,0	29,0	28,0	28,0
1,6	32,0	33,0	32,0	32,3
1,8	38,0	37,0	37,0	37,3
2,0	40,0	40,0	41,0	40,3

Para tal finalidade, a dureza mais indicada para a confecção das rodas de silicone é a dureza obtida com 1,8 – 2,0 % de catalisador, uma vez que as demais durezas são muito baixas, fato que poderia prejudicar o desempenho do robô na luta, ou até mesmo danificar a roda.

<sup>5</sup> Tabela obtida através dos resultados das durezas medidas pelo durômetro.

A roda que continha 20% do Carbonato de Cálcio, resultou na seguinte dureza:

Tabela 4 – Valor da dureza do corpo de prova com carbonato de cálcio.<sup>6</sup>

Porcentagem de Carbonato de Cálcio (%)	Dureza (Shore A)
20,00	45,0

## 2.1. Ensaio de Tração

✓ Sem carbonato de cálcio:

Tabela 5 – Valores do ensaio de tração com corpo de prova sem carbonato de cálcio.<sup>7</sup>

Amostra	Largura (mm)	Espessura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Comprimento Final (mm)	Alongamento em 50 mm (%)
1	12,20	3,00	36,60	1,10	0,300	125,0	150
2	12,15	3,45	41,92	1,75	0,417	110,0	120
3	11,60	3,45	40,02	1,20	0,300	135,0	170
4	11,80	3,40	40,12	1,75	0,436	140,0	180
Média				1,45	0,484	170,0	121,25

✓ Com carbonato de cálcio:

Tabela 6 – Valores do ensaio de tração com corpo de prova com carbonato de cálcio.<sup>8</sup>

Amostra	Largura (mm)	Espessura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Comprimento Final (mm)	Alongamento em 50 mm (%)
1	11,60	2,90	33,64	0,9	0,268	80,00	60
2	11,60	2,75	31,90	1,05	0,330	100,0	100
3	12,00	3,00	36,00	1,05	0,291	120,0	140
4	12,00	3,00	36,00	1,10	0,306	135,0	170
Média				1,03	0,300	108,75	117,5

Nota-se que após realizados os ensaios de tração, a roda que continha 20% de carbonato de cálcio suportou menos carga do que a roda isenta deste composto. Desta forma, conclui-se que apesar do (CaCO<sub>3</sub>) apresentar uma dureza maior, não compensa utilizá-la uma vez que ela é menos resistente que a roda de silicone apenas com catalisador, e nesta mesma é possível chegar a uma mesma dureza de 45 Shore A aumentando a quantidade de catalisador.

<sup>6</sup> Tabela obtida através do resultado da dureza medida pelo durômetro.

<sup>7</sup> Tabela obtida através dos resultados dos ensaios de tração.

<sup>8</sup> Tabela obtida através dos resultados dos ensaios de tração.

Figura 5 – comparação dos resultados do teste de tração.



## Conclusões

Após o término do projeto de pesquisa – Desenvolvimento de rodas de Poliuretano e Silicone para robôs de Combate – concluiu-se por parte do poliuretano que a utilização do ultrassom durante a síntese deste composto ajuda na diminuição das bolhas formadas e por consequência fornece ao material uma resistência maior. No caso, as bolhas representam imperfeições e defeitos no material final e portanto, o produto acaba ficando mais frágil. O uso do ultrassom possibilitou a extinção de grande parte desse gás formado, mas não por completo, pois ainda restava umidade presente tanto na amostra quanto no ar, que entrava em contato com o material durante sua cura. Desta forma, quando mais lacrado o molde estiver, ou seja, um menor contato com a umidade do ar, menos bolhas serão formadas. Para tanto, a confecção do molde da roda é de extrema importância, uma vez que a formação de bolhas também depende deste. Também foi ressaltado que a dureza do PU, 85 Shore A, é adequada para a finalidade dos robôs. Como conclusão, o ultrassom apresentou bom desempenho no quesito de eliminação de bolhas, entretanto não foi 100% eficaz.

Já no caso das rodas de silicone, conclui-se que a melhor roda envolvendo resistência e dureza foram aquelas que apresentavam apenas catalisador e silicone e aquelas que possuíam uma maior quantidade de catalisador, respectivamente. Em suma, as rodas de silicone demonstraram perfeito desempenho e podem ser confeccionadas e utilizadas nas próximas competições de robótica para categorias de peso leve.

Figura 6 – Roda de Poliuretano produzida.<sup>9</sup>



<sup>9</sup> Roda de Poliuretano obtida através da conclusão do trabalho.

## Referências

CELPAN, Poliuretano. Disponível em: < <http://poliuretanoexpandido.com.br/>> Acesso em 23 de janeiro de 2014.

EXPLICATORIUM, Polímero poliuretano. Disponível em: < [http://www.explicatorium.com/quimica/Polimero\\_Poliuretano.php](http://www.explicatorium.com/quimica/Polimero_Poliuretano.php)> Acesso em 24 de janeiro de 2014.

FUEST, DR. RONALD W. (2007). **What Polyurethanes? Where? Crompton Corp.**

FLEXBAUER, Definição de poliuretano. Disponível em: < <http://www.flexbauer.com.br/index.php/poliuretano-flexbauer-rodas-buchas-pecas-tecnicas-revestimento/definicao>> Acesso em 24 de janeiro de 2014.

OLIVEIRA, R; MARTINEZ, M; LEITE, L; BELLINI, R. **Shape de madeira de demolição, rodas de poliuretano e geração de energia.** Dissertação, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2012.

RANDALL, D (2002). **The Polyurethanes Book, Wiley.**

RECOMPUR, Poliuretano – Características. Disponível em: < <http://www.recompur.com.br/escala.htm>> Acesso em 23 de janeiro de 2014.

RUBBERPEDIA, Polímeros/Elastômeros/Borrachas. Disponível em: < <http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-pu.php>> Acesso em 24 de janeiro de 2014.

SILVA, ROSANA. **Compósito de resina poliuretano derivada do óleo de mamona e fibras vegetais.** Tese dissertação, São Carlos, 2003.